



Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Diseño de una máquina para la densificación del aserrín de
forma manual para su empleo en condiciones locales.

Autor: Yoan Espino Rodríguez

Tutor: Dr. Ing. Ivan Machado López

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica



Agradecimientos:

A todo aquel que me conozca.

A mis compañeros de estudio y de trabajo (que son muchos) por su aliento.

A todo aquel que ha tenido que soportar mis locuras.

Al amor, que siempre me ha inspirado para enfrentarme a todo.

A esos que pusieron obstáculos en mi camino.

Y por encima de todo, a ustedes padres y que esta meta alcanzada sea su orgullo.



Dedicatoria:

A los que se unieron incondicionalmente a vivir mis sueños.

A mis padres (de genes y de amor) por inspirarme siempre.

A los amigos que siempre me han apoyado, sin importar las circunstancias.

A mi negra, porque a pesar de todo aún estamos juntos.

A mi niña, por haberme regalado su cariño.

Y por sobre todo a la vida, que me ha dado la posibilidad de hacerles a todos, este regalo.



Pensamiento:

Yo siento en mí una viva necesidad.

Un potente deseo.

Una voluntad indomable de aprender.

Yo vivo para crear.

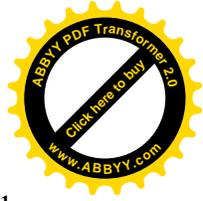
Yo vivo para hacer.

Yoan Espino Rodriguez 27/6/2014 (parafraseando al Apóstol)



INDICE

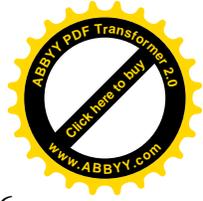
Agradecimientos:.....	i
Dedicatoria:.....	ii
Pensamiento:.....	iii
Resumen.....	5
Summary:.....	6
Introducción general	7
CAPITULO 1: Marco teórico referencial	14
1.0: Introducción.....	14
1.1: La biomasa	14
1.1.1: Tipos de biomasa.....	15
1.1.2: Características energéticas	16
1.1.3: Aplicaciones como fuente energética	18
1.1.4: Ventajas y desventajas de su aplicación.....	20
1.1.5 Competitividad de la biomasa.....	21
1.2: Densificación (briqueteado)	22
1.2.1: Aspectos fundamentales.....	23
1.2.2: Variables a tener en cuenta.....	23
1.2.3: Clasificación de los procesos	26
1.2.4: Disponibilidad de materia prima	27
1.2.5: Aplicaciones de los densificados.	28
1.2.6: Aglomerantes y aditivos	29
1.2.7: Normas Internacionales	30



1.2.8: Ventajas sobre la madera convencional.....	31
1.3: Maquinas briqueteadoras.....	32
1.3.1: Características de algunos equipos del mercado.....	33
1.3.2: Tecnologías empleadas en el briquetado	34
1.3.3: Requerimientos de la máquina a diseñar	38
1.4: Conclusiones del capítulo.....	39
CAPÍTULO 2: Experimentación y ensayos.....	41
2.0: Introducción.....	41
2.1: Diseño de experimento	41
2.1.1: Porqué del diseño de experimento factorial.....	42
2.1.2: Determinación de las variables de entrada.....	42
2.1.3: Determinación de las variables respuestas	43
2.1.4: Diseño de experimento factorial a realizar.....	44
2.2: Características generales de la materia prima	46
2.2.1: Humedad en las muestras del aserrín colectado	46
2.2.2: Granulometría o tamaño de partícula del aserrín.....	47
2.2.3: Densidad de la materia prima colectada	48
2.2.4: Determinación de la presión necesaria de compactación	49
2.2.5: Determinación de las dimensiones del dado y la cantidad de materia prima a emplear para su llenado en peso y volumen.....	50
2.3: Elaboración de briquetas y ensayos de resistencia	52
2.3.1: Experimento de compactación	52
2.3.2: Determinación de la densidad relajada (DR)	54
2.3.3: Determinación de la resistencia a compresión de las briquetas.....	56



2.3.4: Determinación del índice de resistencia al impacto (IRI) de las briquetas	57
2.3.5: Valoración de los resultados de la durabilidad de las briquetas	58
2.4: Conclusiones del capítulo	60
CAPÍTULO 3: Cálculos de diseño y productividad	61
3.0: Introducción	61
3.1: Diseño general de la prensa briqueteadora	61
3.1.1: Diseño y dimensionamiento de la estructura de la prensa	61
3.1.2: Diseño y dimensiones de la placa superior	63
3.1.3: Diseño y dimensiones de los pisadores	63
3.1.4: Diseño de la bandeja de moldes	64
3.1.5: Diseño y dimensionado del extractor de briquetas	68
3.2: Cálculos de resistencia y selección de materiales	69
3.2.1: Cálculo del travesaño	69
3.2.2: Cálculo de las columnas	74
3.2.3: Cálculo de la placa superior	75
3.2.5: Cálculo de los pisadores	77
3.3: Esquema del proceso y productividad	78
3.3.1: Esquema del proceso de producción de briquetas	79
3.3.2: Volumen de materia prima a procesar	81
3.3.3: Procesos principales de manufactura de la prensa	82
3.4: Conclusiones del capítulo	82
Conclusiones generales	84
Recomendaciones	85



Bibliografías	86
Anexos	88



Resumen:

En el presente trabajo se realiza un estudio sobre los densificados de biomasa forestal residual con el objetivo de diseñar una prensa completamente manual para llevar a cabo el proceso y así re-utilizar los desechos (luego de densificados) de la producción del aserradero de Mil Cumbres perteneciente a la Empresa de Flora y Fauna de Pinar del Río, en el calentamiento de aire para las cámaras de curado de tabaco, sustituyendo así, el empleo de Diésel.

Debido a que en la actualidad en nuestros aserraderos el proceso causa desechos que para su eliminación son quemados, lo cual genera peligro de incendio en los lugares donde se incineran, esta técnica es muy viable y contribuye de gran manera a la protección del medio ambiente.

Este trabajo se basó en dos aspectos fundamentales, uno, el estudio del estado del arte del uso de la biomasa y en particular del aserrín como fuente energética, sus propiedades y características, así como los procesos y equipos para su densificación, teniendo en cuenta las particularidades necesarias para el empleo del producto a obtener y el segundo, donde teniendo en cuenta toda la información recopilada se realizaron los ensayos y experimentos para el posterior diseño de la máquina y la realización de los cálculos de resistencia y productividad de la misma, buscando satisfacer los requerimientos para su empleo.



Summary:

Presently work is carried out a study on the densificados of residual forest biomass with the objective of designing a totally manual press to carry out the process and this way to re-use the waste (after densificados) of the production of the sawmill of a Thousand Summits belonging to Flora Company and Fauna of Pinegrove of the River, in the heating of air for the cameras of cured of tobacco, substituting this way, the employment of Diésel.

Because at the present time in our sawmills the process causes waste that it stops its elimination they are burnt, that which generates fire danger in the places where they are incinerated, this technique is very viable and it contributes from a great way to the protection of the environment.

This work was based on two fundamental aspects, one, the study of the state of the art of the use of the biomass and in particular of the sawdust like energy source, its properties and characteristic, as well as the processes and teams for its densificación, keeping in mind the necessary particularities for the employment of the product to obtain and the second, where keeping in mind all the gathered information was carried out the rehearsals and experiments for the later design of the machine and the realization of the resistance calculations and productivity of the same one, looking for to satisfy the requirements for its employment.



Introducción general:

Dentro de los temas priorizados por el Ministerio de Economía y Planificación para 2014 se incluye la utilización de biomasa residual en la generación de electricidad y otros usos que demandan calor, sobre todo en aquellos donde el cual, se obtiene a partir del empleo de diesel.

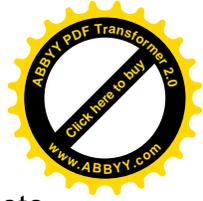
En la Empresa de Antenas se abre actualmente una nueva línea de desarrollo la cual incluye varios productos relacionados con el uso de las fuentes de energía renovable, incluyendo la biomasa.

En este sentido se pretende incluir la fabricación de prensas para la densificación de biomasa (briqueteadoras) en función de procesar específicamente el aserrín resultante de los procesos del aserradero de Mil Cumbres perteneciente a la Empresa Flora y Fauna de Pinar del Río y en la actualidad se discute su extensión a todos los aserraderos de la Empresa Forestal Nacional.

En muchas investigaciones e innovaciones anteriores realizadas en Cuba y en otras partes del mundo se ha demostrado la factibilidad del uso de la biomasa como portador energético la cual puede utilizarse como combustible en diferentes aprovechamientos energéticos como alternativa al uso de los combustibles fósiles (**González M. L. 2004, Sebastián F., Royo J. 2002,**).

No es secreto, que el reto hoy en Cuba es lograr una mayor independencia energética mediante la utilización de todas las fuentes nacionales de energía, según se expresa en el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía del Gobierno Revolucionario. (**Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación 2004**)

La biomasa en la actualidad, es una fuente energética de interesantes aplicaciones tales como instalaciones industriales donde se requiere energía térmica, instalaciones con demandas prolongadas de calor en forma de aire caliente, agua caliente, vapor o aceite térmico. De igual modo en el sector doméstico y de servicios con elevada



centralización en edificios públicos, colegios, hospitales, centros administrativos, etc. donde resulta muy adecuada su introducción.

Según los datos del observatorio europeo de energías renovables, EurObserv`ER, en 2010 la producción de energía primaria a partir de biomasa sólida (Briquetas) en el conjunto de la UE en el año 2010 fue de 79,3 Mtep (un 8% más que en 2009), de los cuales un 83,2% correspondieron a aplicaciones térmicas. (**TODOSBIOMASA**)

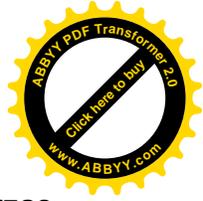
El proceso de densificación modifica las propiedades físicas y químicas de los materiales lignocelulósicos, disminuyendo los costos de transportación y capacidades necesarias para el almacenaje, además, el incremento de su densidad volumétrica y energética reporta ventajas adicionales para su uso como combustible (**Erickson S., and Prior M. 1990; Marcos M. F., Núñez M. A. 2006; Ortiz L., Tejada A. Vázquez A. 2005**).

Sin embargo para la densificación de la biomasa, y específicamente la forestal (aserrín), existen diferentes modelos industriales en el mercado internacional cuyos precios oscilan entre los 12000 € y 40000 €, lo cual junto a las condiciones concretas de nuestro país dificultan grandemente su adquisición.

Por lo antes mencionado se hace necesario el desarrollo de máquinas capaces de realizar la densificación de la biomasa (Briqueteado), acordes a nuestras posibilidades económicas y tecnológicas

En el trabajo se realiza un pormenorizado análisis de las tecnologías de densificación existentes, pero en este sentido no existe en la literatura consultada alrededor de los procesos que intervienen en este fenómeno, fundamentación teórica precisa y profunda (**Domínguez D. J., González V. M.; Muñoz H. G. 2002; Shaw M. 2008**), de ahí que se hace necesario un programa experimental que permita la determinación de los parámetros fundamentales para garantizar el desarrollo de un equipo capaz de producir briquetas que cumplan con las normativas internacionales.

Se plantea (**Shaw M. 2008**), que la densificación de la biomasa ocurre de forma que, al aplicarse una fuerza externa sobre las pequeñas partículas, se produce en



consecuencia una fuerte cohesión y adherencia provocada por las fuerzas electrostáticas.

Los equipos de pistón o mecánicos pueden producir briquetas satisfactoriamente con una alta productividad lo que las hace muy convenientes para la instalación de plantas centralizadas, pero en las condiciones de nuestro país la toma de decisiones en cuanto a la tecnología a elegir, debe considerar sobre todo los aspectos técnico-económicos.

En Cuba existen antecedentes de máquinas empleadas para la densificación del aserrín de forma manual en la obtención de briquetas para su utilización como combustible en hornos ladrilleros. Como una adecuada variante energética se presenta el bloque sólido combustible (BSC), el cual consiste en biomasa densificada con la aplicación de baja presión y la adición de un material aglomerante para lograr la compactación (*Machado L. I. 2011*).

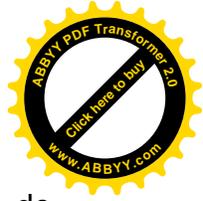
De igual forma existen antecedentes fundamentalmente en la industria azucarera y otras aplicaciones. Se trata pues, del desarrollo de prensas briqueteadoras, teniendo en cuenta las tecnologías, características y principios de las existentes en el mercado internacional adecuándolas a nuestras posibilidades y necesidades.

Importancia del tema de estudio:

La importancia del tema de estudio radica fundamentalmente, en la posibilidad de sustitución del empleo de diesel en la generación de calor para las cámaras de curado de tabaco por biomasa forestal densificada, con tecnología propia, económica y ecológica, además de la posibilidad de empleo de los residuos de la industria de la madera, contribuyendo de esta forma a la sustitución de importaciones y a la protección del medio ambiente.

Objeto de estudio:

El objeto de estudio del presente trabajo son los equipos para la producción de los densificados de biomasa, en especial la forestal, para su fabricación con tecnología y recursos disponibles, además de bajos costos de adquisición, para su empleo en condiciones locales; con vistas a la utilización de los densificados en la generación de



energía térmica para las cámaras de curado de tabaco sustituyendo el empleo de diesel.

Situación problemática:

El consumo de diesel en la generación de energía constituye un gasto importante en la economía de nuestro país y un considerable deterioro del medio ambiente, por las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, los grandes volúmenes de desechos forestales generados debido a los diferentes procesos en nuestros aserraderos sin un destino final definido, constituyen también un negativo impacto medio ambiental, en este sentido su densificación reporta considerables ventajas, sin embargo esta solución se encuentra limitada por la no existencia de un equipo productor de briquetas normalizadas que pueda ser fabricado en las condiciones nacionales.

Problema científico:

La densificación mediante procesos de alta presión, sobre todo de forma manual, no ha sido desarrollada ni experimentada, pero su implementación en condiciones locales puede aportar grandes beneficios tanto a la economía como a la humanidad al dar solución al problema que provocan los residuos en los aserraderos y al gasto generado en el consumo de diesel para la generación de energía térmica.

Hipótesis:

Es posible el diseño y fabricación de una máquina briqueteadora completamente manual y productividad satisfactoria, con tecnologías y recursos nacionales, que permita la obtención de briquetas normalizadas para el aprovechamiento energético de los desechos generados por la industria de la madera.

Objetivo general:

Diseño de una maquina briqueteadora manual para la densificación del aserrín que genere un producto de calidad para los fines propuestos.



Objetivos específicos:

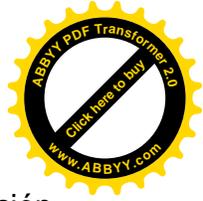
- Adquirir información sobre el estado del arte en el uso de la biomasa como fuente energética, sus características, los equipos, procesos y tecnologías para su densificación y las normas internacionales más significativas que avalen el producto.
- Diseño de experimento para la determinación de los parámetros de la máquina briquetadora.
- Diseño y cálculo de los elementos de la máquina briquetadora.
- Elaboración de los planos del diseño para su fabricación.
- Realizar el análisis de la productividad del equipo y el esquema del proceso de briquetado.

Tareas de investigación:

- Realización de un análisis bibliográfico que permita comparar las tecnologías de obtención y densificación de biomasa, sus antecedentes, desarrollo y en general las diferentes aplicaciones de estos procesos en la actualidad.
- Evaluación de las principales materias primas a emplear para determinar la necesidad de acondicionamiento de la misma.
- Realizar experimentos con el material a briquetear para determinar el proceso a emplear y parámetros como, presión de compactación, humedad de la materia prima, tiempo de retención, uso o no de aglomerante etc...
- Realizar los cálculos de resistencia de materiales de los elementos de máquina, para garantizar su desempeño eficiente.

Novedad del tema:

Como aspecto novedoso en el presente trabajo se puede considerar la obtención de briquetas de aserrín que cumplan las normas internacionales de calidad, para su empleo como combustible, mediante procesos de densificación de alta presión, sin el



uso de aglomerante en una prensa briqueteadora manual de diseño y fabricación nacional.

Actualidad:

La actualidad del tema radica fundamentalmente en la posibilidad de sustitución del empleo de diesel y el reciclaje racional de los desechos de la industria de la madera, además de la obtención de una máquina para la densificación de la biomasa completamente manual con tecnología y recursos propios.

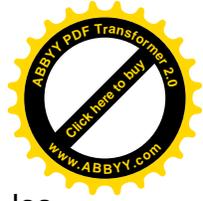
Aportes:

- 1) Obtención del diseño de una máquina briqueteadora manual para la realización de la densificación del aserrín por alta presión sin usar aglomerante.
- 2) Fabricación de briquetas de aserrín con la calidad adecuada para su empleo como combustible en vista de sustituir el empleo de diesel en las cámaras de curado de tabaco.
- 3) Alternativa de destino para los residuos de la industria de la madera, contribuyendo a la protección del medio ambiente al facilitar la evacuación de estos desechos.

Estructura de la tesis:

Para realizar este estudio se constituyeron cuatro etapas de trabajo bien complementadas.

- Una primera: Donde se determina la situación problemática, definiendo el objeto de estudio, la hipótesis y demás aspectos metodológicos generales para el desarrollo del trabajo.
- Una segunda: En la cual se realizó la revisión bibliográfica, para la obtención de información sobre los equipos y tecnologías empleadas para la obtención de briquetas de biomasa para su empleo como combustible.
- La tercera: Se fundamentó en la experimentación y ensayo de varias muestras del material a densificar; teniendo en cuenta las características a obtener para su



empleo; con el objetivo de adquirir datos suficientes para la determinación de los parámetros fundamentales a tener presente para enfrentar la tarea de diseño de la máquina briquetadora y de cada uno de sus elementos.

- En la cuarta: Tomando toda la información recopilada en las etapas anteriores, se desarrollaron todos los cálculos referentes tanto, al diseño de la máquina y sus elementos como a su productividad; concluyendo con la obtención de los planos de diseño del producto para su posterior fabricación.



CAPITULO 1: Marco teórico referencial

1.0: Introducción

En multitud de países en vías de desarrollo, la biomasa es la principal fuente de energía primaria lo que provoca sin embargo, en muchos casos, problemas medioambientales como la deforestación, desertización, reducción de la biodiversidad, etc. producidos por una explotación no adecuada del recurso.

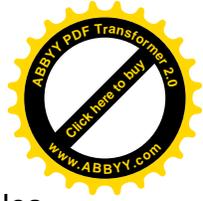
En el presente capítulo abordaremos temas relacionados con el aprovechamiento energético de la biomasa haciendo énfasis en la utilización de los residuos forestales, sus ventajas y desventajas y algunas de las aplicaciones donde se emplea en la actualidad. La generación de desechos en nuestros aserríos sin destino final puede garantizar la disponibilidad de la materia prima a procesar para los fines propuestos, es por ello y por los problemas medioambientales que estos ocasionan que se proyecta este estudio.

También nos referiremos a los procesos de densificación, su clasificación y las variables fundamentales a tener en cuenta para el control de dichos procesos. Las principales tecnologías encontradas, como son las prensas de pistón, las de tornillo sinfín y las hidráulicas, cada una con sus características y peculiaridades las cuales se detallaran en su momento.

Por último, aunque no menos importante, se analizan algunas máquinas existentes en el mercado para la comparación de las tecnologías empleadas en las mismas, así como los requerimientos técnicos económicos exigidos por el cliente, para sobre esa base proyectar la propuesta de diseño.

1.1: La biomasa

La biomasa, sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal ha sido la fuente energética más importante para la humanidad desde su nacimiento, en ella se ha basado la actividad de los hombres tanto doméstica como manufacturera hasta el inicio mismo de la revolución industrial. (**Sebastián F., Royo J. 2002**),



El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego. (*Manuales sobre energía renovable 2002*)

Desde la pre-historia, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad. (*Manuales sobre energía renovable 2002*)

Multitud de recursos quedan agrupados bajo el término genérico biomasa. Esta enorme variedad unida a la capacidad de adaptación de las tecnologías de aprovechamiento energético a los diferentes recursos existentes, causan que, en la actualidad, muchas de las actividades industriales podrían satisfacer toda o parte de su demanda energética con biomasa.

1.1.1: Tipos de biomasa

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía de una instalación, una de las clasificaciones más generalmente aceptada es la siguiente. (*Energía de la Biomasa. Agosto 2001*).

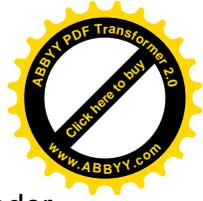
- Biomasa natural: es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa. La utilización de estos recursos requiere de la gestión de su adquisición y transporte hasta la empresa lo que puede provocar que su uso sea inviable económicamente.



- Biomasa residual seca: se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el aserrín, etc.
- Biomasa residual húmeda: son los vertidos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).
- Cultivos energéticos: son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo (cynara cardunculus), el girasol cuando se destina a la producción de biocarburantes, etc.
- Biocarburantes: aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites) como de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.) o en los cultivos energéticos (colza, girasol, patata, etc.), por sus especiales características y usos finales, este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores.

1.1.2: Características energéticas

En muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce o porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante, basta recordar que considerando que, por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 kcal y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10.000 kcal, por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de dicho combustible. (**González M. L. 2004**)

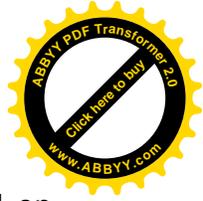


Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento. La Tabla 1.1 recoge el poder calorífico superior (P.C.S.) y el poder calorífico inferior (P.C.I.) a distintos contenidos de humedad (x) de algunos de los recursos de biomasa más habituales. (**González M. L. 2004**)

Tabla 1.1: Poder calorífico de diferentes biomásas

PRODUCTO	P.C. a humedad x (KJ/Kg)					
	X	P.C.S.	x	P.C.I.	x	P.C.I.
Leñas y ramas	0	19,353	20	15,006	40	10,659
Aserrines y virutas	0	19,069	15	15,842	35	11,537
Orujillo de oliva	0	18,839	15	15,800	35	11,746
Cáscara de almendra	0	18,559	10	16,469	15	15,424
Cortezas (Coníferas)	0	19,437	20	15,257	40	11,077
Cortezas (Fronosas)	0	18,225	20	14,087	40	9,948
Poda de frutales	0	17,890	20	13,836	40	9,781
Paja de cereales	0	17,138	10	15,173	20	13,209
Vid (Sarmientos)	0	17,765	20	13,710	40	9,656
Vid (Ramilla de uva)	0	17,263	25	12,331	50	7,399
Vid (Orujo de uva)	0	18,894	25	13,543	50	8,193

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO₂) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la



energía solar. Entonces, se produce en forma sostenida o sea -en el mismo nivel en que se consume - esa batería durará indefinidamente.

1.1.3: Aplicaciones como fuente energética

Sector doméstico:

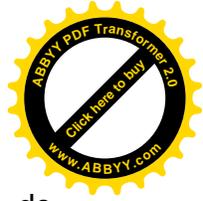
En América Central muchas familias utilizan leña u otras formas de biomasa para cocinar, particularmente en zonas rurales. Sus fuentes son los árboles alrededor de las viviendas, los campos agrícolas y los bosques. Además, en algunos lugares existe un mercado comercial, aunque informal, de leña, que constituye una fuente importante de ingresos para familias rurales.

Las estufas usadas para la cocción pueden ser fijas o portátiles y, a veces, tienen una chimenea. Algunas familias hacen su propia estufa de materiales locales; otras buscan el servicio de un artesano, o la compran en el mercado. Generalmente, estas son simples y son de baja eficiencia. Además, emiten cantidades considerables de gases tóxicos que tienen un impacto en la salud del núcleo familiar. Los procesos domésticos han sido muy ineficientes, pues han presentado pérdidas normales de energía entre 30% y 90%. Aunque los usuarios tratan de mejorar las estufas, por lo general carecen de los recursos financieros y técnicos para hacerlo considerablemente.

Sector industrial:

La biomasa es una fuente de energía importante para muchas industrias rurales en América Central; por ejemplo, para la fabricación de ladrillos y cal, y para el procesamiento de productos agrícolas. En comparación con el sector doméstico, su uso en el sector industrial es menor, pero todavía considerable. Seguidamente se mencionan las aplicaciones industriales más importantes:

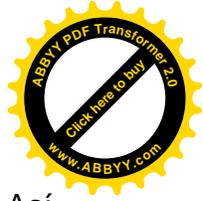
- Generación de calor: Particularmente en zonas rurales, varias industrias utilizan fuentes de biomasa para generar el calor requerido para procesos como el secado de productos agrícolas (café) y la producción de cal y ladrillos. En las pequeñas industrias, los procesos energéticos muchas veces son ineficientes



debido a la baja calidad de los equipos y a procedimientos inadecuados de operación y mantenimiento.

- **Generación eléctrica:** En varios países industrializados se utiliza la biomasa, a gran escala, para la red eléctrica interconectada. También se usa en combinación con otras fuentes convencionales como el carbón mineral.
- **Co-generación:** Esta aplicación se refiere a la generación simultánea de calor y electricidad, lo cual resulta considerablemente más eficiente que los dos sistemas separados. Se utiliza con frecuencia en industrias que requieren de las dos formas de energía, como el procesamiento de café y azúcar. Su configuración depende de cuál es la forma de energía más importante; a veces se utilizan el calor y la electricidad en el proceso de la planta industrial y se vende el excedente a otros usuarios o a la red eléctrica.
- **Hornos industriales:** Los hornos de combustión directa están ampliamente difundidos en todas las operaciones agroindustriales de América Central. Básicamente consisten en una cámara de combustión en la que se quema la biomasa (leña, cascarilla de arroz o café, bagazo, cáscara de coco, etc.), para luego usar el calor liberado en forma directa o indirecta (intercambiador de calor) en el secado de granos, madera o productos agrícolas.
- **Calderas:** Las calderas que operan con base en la combustión de biomasa (leña, aserrín, cascarilla de café, arroz, etc.) se usan en el secado de granos, madera y otros. Estos equipos están dotados de una cámara de combustión en su parte inferior (en el caso de las calderas a leña) en la que se quema el combustible; los gases de la combustión pasan a través del intercambiador de calor, transfiriéndolo al agua. En algunas calderas se usan inyectores especiales para alimentar biomasa en forma de polvo (aserrín, cáscara de grano, etc.), a veces, junto a algún otro tipo de combustible líquido (por ejemplo, búnker).

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en



combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bioquímico.

- Ciclo de vapor: Está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.
- Turbina de gas: Utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un ciclo combinado.
- Motor alternativo: Utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaerobia.
- La generación de energía mecánica: Los biocarburantes pueden ser empleados en los motores alternativos de automóviles, camiones, autobuses, etc., sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles. La utilización de biocarburantes es especialmente interesante en industrias agrarias que dispongan de una adecuada materia prima para su producción (aceites reciclados, colza, girasol, maíz, trigo, patata, etc.) y que puedan autoconsumirlos (por ejemplo en tractores), llegando a suponer importantes ahorros. (**González M. L. 2004**)

1.1.4: Ventajas y desventajas de su aplicación

La principal ventaja que representa el uso energético de la biomasa, radica en su propiedad de renovable y de contribuir en el re-aprovechamiento de los residuos tanto urbanos como agroindustriales, lo cual favorece en gran medida a la protección del medio ambiente.

La utilización energética de la biomasa presenta también, debido a sus características, pequeños inconvenientes con relación a los combustibles fósiles:

- Los rendimientos de las calderas de biomasa son algo inferiores a los de las que usan un combustible fósil líquido o gaseoso.



- La biomasa posee menor densidad energética, o lo que es lo mismo, para conseguir la misma cantidad de energía es necesario utilizar una mayor cantidad del recurso. Esto hace que los sistemas de almacenamiento sean, en general, mayores.
- Los sistemas de alimentación de combustible y eliminación de cenizas son más complejos y requieren unos mayores costes de operación y mantenimiento (respecto a las que usan un combustible fósil líquido o gaseoso). No obstante, cada vez existen en el mercado sistemas más automatizados que van minimizando este inconveniente.
- Los canales de distribución de la biomasa no están tan desarrollados como los de los combustibles fósiles (sólo aplicable en el caso en que los recursos no sean propios).
- Muchos de estos recursos tienen elevados contenidos de humedad, lo que hace que en determinadas aplicaciones puede ser necesario un proceso previo de secado.

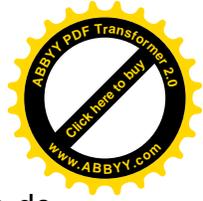
(Sebastián F., Royo J. 2002)

1.1.5 Competitividad de la biomasa

El coste de la biomasa como combustible oscila entre 20 €/MWh para combustibles poco elaborados (astillas) y grandes consumidores, y 40 €/MWh para pellets de primera calidad distribuidos en el mercado minorista de España (vivienda unifamiliar) y no es previsible un incremento significativo de los precios de la biomasa a medio plazo.

El coste del gas natural para tarifa regulada es actualmente de 43,6 €/MWh para grandes consumidores y 59,2 €/MWh para pequeños consumidores. En ambos casos hay que añadir un término fijo mensual no despreciable y los gastos de alquiler de contador y que la tendencia del gas a medio plazo es alcista.

El coste del gasoil, estimado un precio del gasóleo C de 0,85 €/l, supone un coste de 85 €/MWh. Propano y butano se sitúan en precios similares.



La eficiencia de las calderas modernas de biomasa es similar a la de las calderas de gas o gasoil siendo únicamente superadas en un ligero porcentaje por las calderas de gas de condensación. (**TODOSBIOMASA**)

Por lo antes expuesto, se evidencia la factibilidad del uso de biomasa en la generación de energía, teniendo siempre en cuenta los requerimientos de transporte y almacenaje derivados de su baja densidad.

1.2: Densificación (briqueteado)

Diversos trabajos han sido realizados en el tema del aprovechamiento energético de briquetas de biomasa y los métodos para lograr su compactación y con ello disminuir las desventajas que se derivan de su baja densidad, sin embargo la densificación de materiales procedentes de la biomasa no es aún una ciencia consolidada, lo que determina la no total comprensión de los fenómenos relacionados con las propiedades físico - químicas de los materiales que se aglomeran y las variables de los procesos de densificación, que en conjunto determinan las prestaciones del producto densificado (**Bhattacharya S. C. 2002; Shaw M. 2008**).

La densificación se puede definir como la compresión o compactación de un producto, para disminuir los espacios vacíos entre las partículas y dentro de las mismas. Productos compactados con menos de 30 mm de diámetro son considerados convencionalmente pellets y con diámetros mayores, briquetas. Los productos compactados no aglutinados son conocidos por bultos o pacas.

Particularmente, las briquetas y pellets de biomasa forestal, son productos fabricados a partir de los residuos de la madera y demás desechos generados en los procesos de transformación de la materia prima en los aserraderos, como aserrín, viruta y corteza de árbol; residuos que, por lo general, la gran mayoría de las industrias alrededor del mundo, no utilizan, y no transforman, y que tienen gran aplicación como combustibles para el calentamiento de aire o fluidos. (**Barrera O. J. A. Periodista M&M**)



1.2.1: Aspectos fundamentales

Se deben tener en cuenta fundamentalmente a la hora de abordar un proyecto para la densificación de biomasa, los siguientes aspectos:

- Que los productos (pellets, briquetas, etc.) mantengan sus propiedades como sólidos compactados hasta que cumplan su función (durante su manipulación, transporte, almacenaje, dosificación y combustión).
- Que se comporten satisfactoriamente como combustibles, dentro de un sistema integral concebido.
- Que la fuente de materia prima se encuentre relativamente cerca de la planta de densificación para disminuir los costes de transportación.

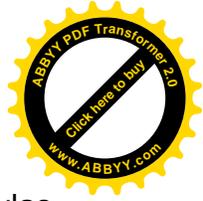
Idealmente, para concebir un proyecto de utilización, se analizan los requerimientos del transporte, manipulación, almacenaje y combustión, calidad del servicio energético, impactos al medio y sobre los productos residuales y desechos, etc., y luego, a partir de las características físicas y químicas del combustible sólido de baja densidad disponible, se escoge el método de preparación y densificación óptima y la máquina capaz de lograrlo.

La producción de bolas o pellets supone la reducción de los residuos de madera al tamaño del aserrín, y luego se secan aproximadamente al 12 por ciento de contenido de humedad (c.h) antes de su extrusión en molinos agrícolas especialmente adaptados para formar cilindros de unos 6 a 18 mm de diámetro y de 15 a 30 mm de largo, con una densidad del orden de 950 a 1 300 Kg/m³. El secado de la materia antes de su extrusión se suele realizar en secadoras de tambores giratorios, caldeadas por un 15 a 20 por ciento de la producción de bolas de la planta.

1.2.2: Variables a tener en cuenta

Presión-Temperatura:

Las briquetas se forman generalmente haciendo pasar el aserrín o las virutas secas a través de un troquel cilíndrico partido, usando un vástago hidráulico. La presión



ejercida, de unos 1 200 Kg/cm², y el calor resultante generado aglomera las partículas de madera en forma de "leños" artificiales.

Por lo tanto la temperatura, dependiendo de la briqueteadora, se relaciona con la presión debido a la fricción interna entre las partículas y con la pared del dado por lo que algunas veces se usan fuentes externas de calor (se calienta el dado en su sección de entrada). Por ejemplo, cuando se calienta la madera (aserrín) sobre su rango de temperatura de plasticidad (165 °C) se pierde su elasticidad y se comprime más fácilmente.

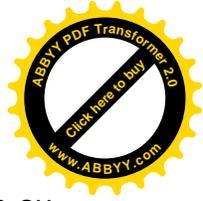
Podría considerarse que el aumento de la presión tiene relación directa con el calor específico de combustión (CEC), lo cual puede estar asociado con el aumento de la densidad y probablemente con el contenido porcentual de carbono fijo en el volumen del bloque, lo cual a su vez produce un incremento del poder calórico volumétrico, atendiendo al valor promedio de la densidad, el CEC puede representar 10 590 MJ/ m³.
(Revista Ingeniería de Construcción Vol. 26 N°2, Agosto de 2011)

Humedad:

La humedad, desempeña un importante papel en la densificación, ayuda a la transferencia del calor y mejora la plasticidad del material. Si el material está muy húmedo o muy seco las presiones necesarias se incrementan drásticamente.

La madera cuando se extrae en el bosque tiene por lo general un contenido de humedad de un 50 a un 55 por ciento, aunque ese grado varía según la especie, edad y parte del árbol del que procede el material, según se trate de ramas, tronco, etc. Respecto a esta media se dan ulteriores fluctuaciones en las que influye la estación en la que se corta la madera y la forma en que se transporta al aserradero y se almacena allí.

El contenido de humedad de los residuos industriales depende muchísimo de la fase del proceso en que se extraiga y si ha habido algún secado del producto antes de esa fase. Por ejemplo, las lijaduras de tableros contrachapados o tableros de partículas se



sacan de la fábrica después de los secadores y de las prensas en caliente, cuando su contenido de humedad podría bajar hasta un 10 por ciento o menos.

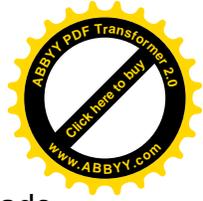
Tabla 1.2: Contenido de humedad de los residuos de la madera.

Residuos	Tamaño (mm)	Cont. de humedad (%)	Cont. de cenizas y suciedad (%)
Lijaduras	<1	2-10	0,1-0,5
Virutas	1-12	10-20	0,1-1,0
Aserrín	1-10	25-40	0,5-2,0
Corteza (desmenuzada)	1-100	25-75	1,0-2,0
Limpiezas de apiladeros de trozas	hasta 100	40-60	5,0-50
Residuos forestales de agujas a tacones		30-60	3,0-20

Por una parte a causa de las grandes presiones internas que se levantan en las prensas de pistón, sólo se pudieran “briquetear” combustibles relativamente secos. El incremento de la humedad causa mayor cantidad de vapor de agua que se genera durante la compresión, el cual o rompe la briqueta por su superficie al enfriarse o puede producir una explosión que lanza la briqueta como un proyectil. En el caso de un brusco incremento de la humedad en el material de la entrada, la explosión de vapor puede incluso dañar la prensa.

Por otra, mientras menor sea la humedad del material inicial, la fricción en el proceso aumenta y con ello se incrementa la demanda de energía. Los límites de humedad dependen del material y el tipo de “briqueteadora” que se utiliza, normalmente se acepta como humedad óptima alrededor de 7 %, permitiéndose como límite inferior 5 % y como superior 15 %. En algunos casos específicos se reporta hasta 20 % de humedad.

Estas limitaciones de humedad y el control de la homogeneidad del proceso, exigirían en muchos casos el secado como paso previo o al menos el control de la humedad.



Desde luego, en nuestro caso, para el aserrín., se trataría casi siempre de secado natural, solar, por nuestras condiciones climáticas. (**González M. L. 2004**)

Granulometría:

En la formación de bultos o pacas, por lo general, el tamaño de la partícula tiene menor importancia y mientras más largas éstas sean se facilita el amarre o tejido. Para la formación de briquetas se acepta que sólo lo que puedas palear, lo podrás briquetear. En general, el material a briquetear idealmente deberá contener partículas largas y cortas. La longitud misma de la partícula dependerá del material y diámetro del dado. Mientras mayor sea la máquina y el dado, mayor podrá ser la partícula, por ejemplo para dados de 125 mm de diámetro, la partícula más larga será de 15 mm. En muchos casos esta restricción obliga a introducir la molienda previa del material, obviamente la paja de caña requerirá de su molienda previa para la producción de briquetas y pellets. (**González M. L. 2004**)

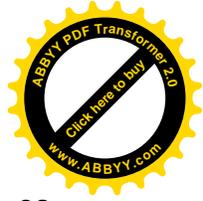
1.2.3: Clasificación de los procesos

Para la densificación existen tres procesos básicos definidos como:

- De alta presión, donde las misma son superiores a 100 mega pascales. (>100 MPa)
- De media presión, donde estas oscilan entre 5 y 100 mega pascales. (5-100 MPa)
- De baja presión, donde estas se encuentran por debajo de 5 mega pascales. (<5 MPa)

En los procesos de densificación, en ocasiones son utilizadas sustancias aglomerantes para que el producto obtenido alcance la propiedad necesaria como sólido, dependiendo lo anterior de la presión empleada en el proceso.

En resumen, el que se use un aglutinante externo o no depende de la briqueteadora que se utilice y del material original. En procesos de alta presión (>100 MPa), raramente se usa aglutinante externo, en los de medias presiones (5-100 MPa) depende del



material y su compactación y en los de bajas presiones (hasta 5 MPa) siempre es necesario añadir aglutinante. (**González M. L. 2004**)

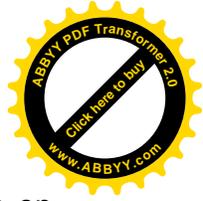
1.2.4: Disponibilidad de materia prima

A lo largo de los años, muchos aserraderos han considerado los residuos de madera como un subproducto engorroso de la operación de aserrío, con su consiguiente eliminación para relleno de terrenos o incinerándolos en quemadores Wigwam.

Puede afirmarse que de un árbol corriente, se obtienen menos de las dos terceras partes para su ulterior elaboración, mientras el tercio restante o se queda abandonado, se quema o lo recogen como leña los habitantes del lugar. Después de la elaboración, sólo un 28 por ciento del árbol se convierte en madera aserrada, quedándose el resto en residuos como se muestra en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Distribución de un árbol corriente apeado para madera de aserrío.

Parte o producto	Proporción (%)
<u>Dejado en el Bosque:</u>	
Copa, ramas y follaje	23,0
Tocón (excluidas las raíces)	10,0
Aserrín	5,0
<u>Aserrío:</u>	
Virutas, costeros y recortes	17,0
Aserrín y menudos	7,5
Pérdidas varias	4,0
Corteza	5,5
Madera aserrada	28,0
Total	100,0



Según (**Curbelo A., García B. 2006**), el volumen de residuos de madera aserrada en Cuba asciende a 70.000 m³ anuales, estos residuos son utilizados de forma irregular por la industria avícola y porcina, sin embargo en ocasiones no tienen una aplicación concreta provocando una innecesaria ocupación y contaminación de áreas productivas donde muchas veces son incinerados sin dar al calor generado un empleo racional.

Estudios previos para determinar la disponibilidad de residuos provenientes del tratamiento de la madera en Villa Clara, identifica como fuente mayoritaria los aserríos con más del 75% del aserrín producido en la región, aportando talleres y carpinterías locales el resto. (**González M. L. 2004**).

Los aserríos evaluados generan cada año alrededor de 280 m³ de residuos en forma de aserrín, con un valor energético de 378 GJ/año, lo cual podría constituir un significativo potencial energético. (**Revista Ingeniería de Construcción Vol. 26 N°2, Agosto de 2011**)

Todos los residuos de la madera y su corteza, que se suelen denominar comúnmente aserrín basto debido al proceso de reducir el tamaño de los residuos en una "desmenuzadora" tienen valor como combustible, aunque se produce en una gran gama de tamaños con diverso contenido de humedad.

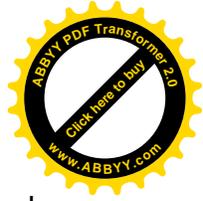
1.2.5: Aplicaciones de los densificados.

Las briquetas o bloque sólido combustible son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas.

Estas leñas compactadas son monopolizadas, sobre todo para calefacción, para cocinar y para uso industrial en las fábricas de ladrillos, cal, cemento, metalurgias, secadores, tostadores y demás procesos que consumen grandes cantidades de madera.

Los densificados de aserrín, (Pellet y Briquetas) tienen importantes aplicaciones como:

- En los hornos de cocción de ladrillos sustituyendo con grandes ventajas a la madera.



- En la obtención después de la quema, de la puzolana del material arcilloso usado como aglomerante, la cual es empleada en la elaboración de materiales de construcción.
- En la calefacción domestica sobre todo durante el invierno en los países fríos.
- En calderas para la generación de electricidad y energía térmica.
- Como fuente de calor para el secado de diversos productos agrícolas etc.



Millones de hogares en Canadá, Estados Unidos y Europa usan las briquetas, principalmente, en temporada de invierno por su costo, calidad y beneficio ecológico.

1.2.6: Aglomerantes y aditivos

Algunas veces se usan aditivos para facilitar el encendido uniforme y mejorar las características del combustible. También son diversas las sustancias que pueden ser usadas como aglomerantes y entre ellas podemos mencionar, por ejemplo, la arcilla, la bentonita, la melaza y el almidón de yuca.

La adición del pegamento o aglutinante es uno de los pasos críticos en la fabricación de briquetas. Prácticamente cualquier adhesivo podría ser utilizado como cementante. La selección se hace en función del costo y del uso final que se pretende para la briqueta. Una briqueta típica puede contener cerca de, un 8% de almidón y un 5% de humedad.



1.2.7: Normas Internacionales

Pese a la variedad en la presentación de las briquetas, primordialmente, sus formas se deben al parecido más fiel posible, que buscan los fabricantes de este producto, con los leños de madera; el propósito es ofrecer combustibles iguales en forma a como se ve la leña en las chimeneas y estimular –no sólo por eficiencia sino también por apariencia– su consumo.

Es así como en Europa –casos tales como el de Alemania, Suecia y Austria– y Norte América, la fabricación y venta de briquetas está sujeta a reglamentaciones o regulaciones para asegurar la calidad del producto, además de un transporte y comercialización eficiente.

Algunas normas europeas para pellets y briquetas.

Austria: There exist three standards referring to pellets product quality, logistic quality and storage quality:

- ÖNORM M 7135 - Compressed wood in natural state or bark in natural state pellets and briquettes requirements and test specifications
- ÖNORM M 7136 - Compressed wood in natural state – Wood pellets quality assurance in the field of logistics of transport and storage
- ÖNORM M 7137 - Compressed wood in natural state – Wood pellets – Requirements on pellets storage at the end-consumer

Germany: Normativa en función de la densidad.

- DIN 51731. Apart from the pellet or briquette shape the unit density and the chemical composition are defined. The today given standards for wood pellets are defined in a German DIN-Standard. In the following the boundary values and conditions for wood fuel pellets or briquettes are compiled.

Sweden: The Swedish Standard SS 18 71 20 defines quality parameters for fuel pellets.

- SS 18 71 70 Biofuels and Peat-Determination of Total Moisture Content (Issue 3)
- SS 18 71 71 Biofuels - Determination of Ash Content (Issue 1)



- SS-ISO 540 Solid Fuels - Mineral Fuels - Determination of Ash Dissolution – Tube Furnace Method (Issue 1)
- SS 18 71 77 Solid Fuels - Determination of Total Sulphur Using a High Temperature Tube Furnace Combustion Method
- SS 18 71 78 Biofuels and Peat - Determination of Green Bulk Density and Calculation of Basic Bulk Density (as in Glossary)
- SS 18 71 80 Biofuels and Peat - Determination of Mechanical Strength of Pellets (Issue 1)
- SS-ISO 1928 Solid Fuels - Determination of Gross Calorific Value by Bomb Calorimeter and Calculation of Net Calorific Value (Issue 1)
- SS 18 71 85 Solid Fuels - Determination of Total Chlorine in Solid Fuel and in Solid Waste Products using a Bomb Method (Issue 1)

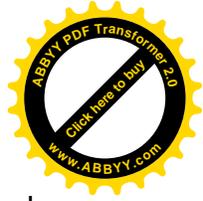
(Existing Guidelines and Quality Assurance for Fuel Pellets)

Existen diferentes normas, pero no la obligación por parte de los fabricantes de cumplir éstas. Las más importantes son la norma DIN 51731 y la norma ecológica Ö-Norm M 7135. Las dos ofrecen un estándar básico en calidad y cada fabricante de briquetas de madera debe solicitar un certificado en un organismo de control, para poder confirmar que las briquetas de madera se producen conforme a dichas normas.

1.2.8: Ventajas sobre la madera convencional

Entre las ventajas de las Briquetas de aserrín se pueden mencionar que son:

- Sub-productos de la madera, en grandes volúmenes, que se pueden transformar para ser comercializados.
- No contienen ningún componente o aditivo tóxico y, al usarlos, no emiten ningún olor o humo.
- Ecológicamente son consideradas una energía totalmente limpia y proviene de un recurso renovable.
- En comparación con la leña que produce hasta más de un 10 por ciento de ceniza, las briquetas únicamente producen un 2,0%.



- Tanto en la industria como en el hogar, estos productos son fácil y seguros de usar y manipular, pues no ofrecen ningún riesgo de combustión espontánea. Con ellos se evitan los episodios de quemaduras y/o lesiones, ocasionadas por líquidos inflamables.
- La humedad de las briquetas después de su fabricación equivale a un 8.0%, mientras que la leña sobrepasa el 40%.
- Debido a su alta densidad y baja humedad, las briquetas arden más lento, lo cual significa mayor duración en comparación con la leña.
- El poder calorífico de una briqueta es de 4500 a 5000 Kcal/Kg (calorías por kilogramos), duplica el de la leña convencional, lo que hace fácil su combustión.
- Se ofrece en formas cilíndricas o cuadrados, por lo cual son más fáciles de almacenar y organizar y no ocupan un espacio considerable en la industria o el hogar.
- Son productos fabricados de residuos forestales, hecho que aporta a la limpieza y protección del medio ambiente. (*Barrera O. J. A. Periodista M&M*)

1.3: Maquinas briqueteadoras

Las máquinas destinadas a la fabricación del producto que nos ocupa son las briqueteadoras, responsables de su industrialización desde hace varios años, principalmente en Europa, Estados Unidos, Canadá y algunos países latinoamericanos. Según el Instituto Nacional de Tecnología Industrial Argentino (INTIA), los principales países fabricantes de estas máquinas son Italia, Suecia, Canadá, Austria, Finlandia, Rusia, Polonia, Dinamarca y Estados Unidos, precisamente, los mismos que concentran la producción de briquetas.



Prototipo de briqueteadora que procesa toneladas de residuos forestales.

1.3.1: Características de algunos equipos del mercado

A nivel de equipos, la industria fabricante de briqueteadoras comercializa diferentes modelos, cuyos precios varían según la capacidad de producción y tiempo de desempeño. El mercado ofrece máquinas desde los 2.600 euros (con capacidad para procesar pellets de 4.0 a 15.0 milímetros); hasta las de 44 mil y 50 mil euros que fabrican briquetas entre los 50.0, 60.0 y 70.0 milímetros de ancho, consideradas como modelos estándar del rubro. (**Barrera O. J. A. Periodista M&M**)

Especificaciones de algunos modelos de briqueteadoras.

TIPO	RB-80	RB-100	RB-120	RB-160
Diámetro de Briqueta mm	50	50	60	70
Potencia kg/h	60-80	80-100	100-120	120-160
Valor de conexión kW	5,5	7,5	7,5	7,5
Peso kg	820	870	1000	1050

TIPO	AP-675	AP-775	AP-815	AP-822
Diámetro de Briqueta mm	60	70	80	80
Potencia kg/h	100	120	300	460
Valor de conexión kW	7,5	7,5	15	22
Peso kg	900	900	2000	2000

TIPO	BP-2000	BP-3200	BP-5500	BP-6000
Diámetro de Briqueta mm	50	60	75	100
Potencia kg/h	225	500	1400	2200
Valor de conexión kW	15-18,5	18,5-22	34	55
Peso kg	1300	3000	4400	5000

Los modelos cuyas características se han detallado se muestran en el Anexo 1

1.3.2: Tecnologías empleadas en el briqueteado

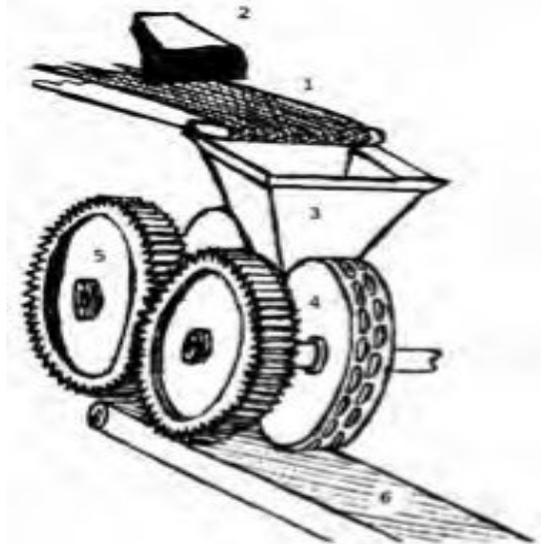
Para la densificación existen diferentes tecnologías que van desde las manuales y rudimentarias hasta las de pistón y tornillo sinfín de tecnologías avanzadas.

A continuación mostramos algunas de estas tecnologías, sus características y funciones.

Briqueteadora de prensa cilíndrica rotativa

Funcionamiento:

El principio de funcionamiento de la máquina es relativamente sencillo. La materia prima es transportada por la banda superior hasta la tolva de alimentación; la tolva tiene abertura graduada para realizar la dosificación hacia el área de contacto entre las dos ruedas o cilindros compactadores. Dichos cilindros, giran en sentido contrario de forma sincronizada y a una misma velocidad, haciendo coincidir la matriz de briquetado, de tal forma que el material a briquetar se conjunta entre ambas cavidades a la vez que es comprimido conforme se reduce la distancia entre las partes del molde. La briqueta obtenida cae, tras la separación de las partes del molde, sobre la banda inferior, la cual le transporta hasta la sección de secado. Finalmente, la única función de la trampa para metales es librar a



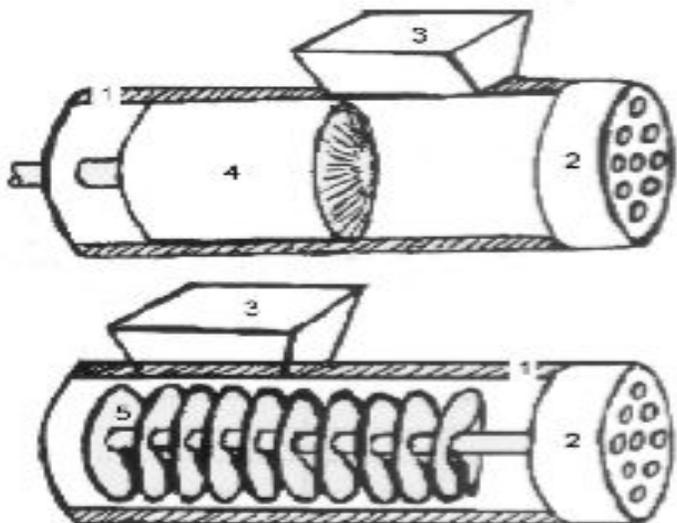
los cilindros compactadores de algún metal, con el fin de evitar sobrepresiones a los cilindros.

Características:

- Ejerce presiones de briquetado de alrededor de 40 kg/cm^2 .
- El diámetro de los cilindros oscila de 495 a 600 mm.
- El ancho de los cilindros puede ser de 150 a 320 mm.
- La capacidad de briquetado en promedio es de 1,5t/h (8,600 t/año).
- La densidad del producto en promedio es de $0,85 \text{ gr/cm}^3$.
- Todo el proceso de briquetado se realiza de forma altamente mecanizada y continua.
- Se obtienen briquetas de forma de almohadilla principalmente.
- Se producen alrededor de 90 piezas (como máximo) por revolución, dependiendo del modelo o prototipo.
- Requiere al menos 7,5 hp de potencia.
- Velocidad de giro para los cilindros de 3 a 12 rpm.

Briquetadora de matriz de extrusado

Existen dos prototipos de briquetadoras de matriz de extrusado: las de pistón hidráulico y las de sinfín. Este proceso es muy similar al utilizado por las industrias de cerámica de alta presión.





Funcionamiento:

Ambos prototipos de máquinas briqueteadoras tienen un principio de funcionamiento muy similar.

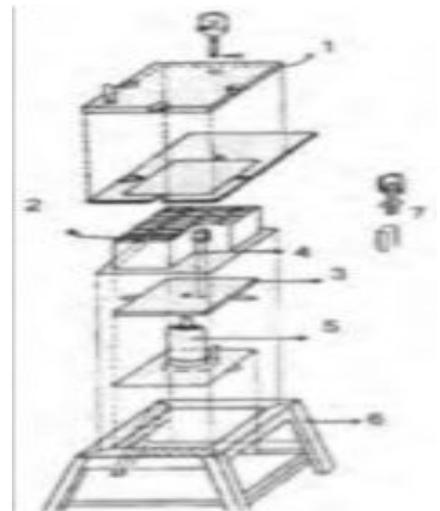
La mezcla de material es alimentada y dosificada a través de la tolva o sinfín según corresponda, los cuales suministran una presión que obliga al material a salir por los orificios de la matriz de extrusado; finalmente, el producto obtenido es troceado en dimensiones homogéneas, teniendo como resultado briquetas de forma cilíndricas.

Características:

- Trabaja con presiones de briquetado que van de 55 a 87 kg/cm².
- Es más barata que otros tipos de briqueteadoras.
- Produce briquetas cilíndricas con diámetro de 3 cm y longitud de 4 cm, o bien, briquetas tubulares con diámetro exterior y longitud igual a 4 cm.
- Se obtienen briquetas con densidades de 0,80 a 0,99 t/m³.
- Es de tecnología simple.
- Se basa en el proceso extrusivo de la cerámica de alta presión.

Briqueteadora de prensa hidráulica plana

Este tipo de briqueteadora no está desarrollado al mismo nivel que las de prensa de cilindro rotativo o las de matriz de extrusado, debido a que el proceso de producción es intermitente, a diferencia de las otras briqueteadoras en las que se tiene un flujo continuo en la fabricación de briquetas.





Funcionamiento:

Este prototipo de máquina briqueteadora necesita que la alimentación se realice en forma manual. Una vez que se ha llenado el bloque de moldes, se desliza la placa superior de presión hasta tapar la sección del mismo. Después se acciona el pistón hidráulico que suministra la presión necesaria para el comprimido y consecuente formado de las briquetas; la presión se distribuye en todos los moldes para briqueteador. Las piezas obtenidas en cada prensada son retiradas de los moldes por el operador.

Características:

- Ejerce presiones de briqueteador de alrededor de 30 kg/cm^2 .
- La densidad de las briquetas es en promedio de $0,80 \text{ gr/cm}^3$.
- El proceso de briqueteador se realiza de forma semi-mecanizada e intermitente.
- Se obtienen briquetas de forma de almohadilla principalmente.

(Moreno L. L. A. 2003)

Briqueteadora manual de husillo

Esta máquina briqueteadora manual trabaja con bajas presiones de compactación, usando arcilla como aglomerante en la mezcla y un elevado por ciento de humedad.

Funcionamiento:

Este prototipo exige que la alimentación de la mezcla se realice de forma manual y una vez llenos los moldes se colocan los pisadores en posición y se deslizan verticalmente por medio del husillo, la extracción de los densificados es mediante el movimiento inverso del husillo.





1.3.3: Requerimientos de la máquina a diseñar

Los requerimientos de la máquina se establecieron de acuerdo a las necesidades reales de evacuación de desechos en los aserríos, lugar de emplazamiento de la misma y el empleo del producto obtenido como fuente energética.

Como requerimientos indispensables podemos mencionar los siguientes aspectos:

Económicos:

- Bajo costo de adquisición.
- Bajo costo de operación.
- Bajo costo de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Rentabilidad.

Aspectos técnicos:

- Producto de calidad según destino.
- No dañar física o mecánicamente el producto elaborado.
- Fácil instalación y desinstalación sin personal capacitado.
- Posibilidad de crecimiento de la planta (utilizar dos o más máquinas).

Operación:

- Fácil alimentación de la mezcla.
- Facilidad en la descarga del producto.
- Buena confiabilidad.
- Prensado manual.
- Seguridad para el operario.

Energía:

- Sin consumo de energía que no sea renovable.



Aspectos físicos:

- Lo más compacta posible.
- Lo más ligera posible.
- Apariencia estética.

Construcción:

- Construida con elementos de fabricación nacional.
- Procesos de maquinado sencillos.
- Uso de herramientas y máquinas convencionales.

Durabilidad de la máquina:

- Uso de materiales durables y resistentes.
- Mecanismos de seguridad y protección de la máquina.
- Facilidad de mantenimiento preventivo y correctivo sin personal capacitado.
- Posibilidad de resguardo.

Normativos:

- Atención a normas y leyes de diseño y operación.

Ecológicos:

- Nula o baja contaminación por ruido, vibración y residuos tóxicos, entre otros.

1.4: Conclusiones del capítulo

- En el mercado mundial las máquinas para la elaboración de briquetas (briqueteadoras) representan una inversión considerable para su uso en condiciones locales, lo cual las hace excesivamente costosas para las condiciones de empleo en nuestro país, de ahí la necesidad de desarrollarlas con tecnologías y recursos propios.



- Entre las tecnologías de briqueteado encontradas, la manual con altas presiones no ha sido experimentada y/o desarrollada competentemente, para minimizar los costes de acondicionamiento y uso de aglomerantes en el proceso que conduzcan a una mayor eficiencia y rendimiento del producto, con el considerable reciclaje de desechos y sustitución de combustibles tradicionales.
- El uso de densificados de biomasa y sobre todo la forestal (aserrín) es una técnica viable para la generación de energía y que es posible llevar a cabo en condiciones locales, con tecnologías y recursos mínimos, representando una alternativa a los combustibles tradicionales, sobre todo, en la generación de energía térmica.
- El desarrollo de una tecnología de elaboración de briquetas con fines energéticos propia (energía térmica), con recursos disponibles y existentes, es para la humanidad en las condiciones actuales y futuras, una premisa que no se debe pasar por alto para la sostenibilidad de nuestro planeta.



CAPÍTULO 2: Experimentación y ensayos

2.0: Introducción

En el presente capítulo definiremos tanto las variables de entrada como las variables respuestas a evaluar en el diseño de experimento a realizar para garantizar la calidad de los densificados de biomasa forestal a obtener con la máquina briquetadora cuyo diseño es el objeto de nuestro trabajo.

Abordaremos también temas relacionados con la materia prima a procesar; los parámetros o variables de la misma que se necesitan controlar además de realizar una caracterización general con el fin de obtener la información necesaria para llevar a cabo el diseño de experimento.

Durante el desarrollo del tema determinaremos la humedad con que se generan los desechos y si esta es aceptable para el proceso que se llevara a cabo, el tamaño de partículas o granulometría promedio con que se obtienen dichos remanentes, así como la densidad del aserrín colectado en los distintos procesos del aserradero, etc. Debemos aclarar que los ensayo se realizaran con la materia prima colectada directamente del aserradero sin tener en cuenta de que especie de árbol procede.

También según la clasificación del proceso a emplear (Bajas, Medias o Altas Presiones) determinaremos la presión mínima de compactación y las dimensiones del dado, así como la cantidad de materia prima a emplear en volumen y peso para obtener las dimensiones y densidad deseada en la briqueta a fabricar.

Realizaremos los ensayos de resistencia a la compresión e impacto del producto obtenido, los cuales junto a la densidad final del densificado representan las variables respuestas de nuestra experimentación.

Concluyendo el capítulo se realizara la valoración de los resultados, graficando los mismos para mayor comprensión.

2.1: Diseño de experimento

Para optimizar procesos de fabricación, condiciones de reacción y métodos de análisis entre otros, es necesario conocer qué variables influyen significativamente en el sistema y cómo afectan. A menudo esta información no está disponible y se genera



experimentando. Primero se recogen en una lista todas las variables que podrían influir en la respuesta. A continuación, se realizan una serie de experimentos en los cuales se fijan las variables que no interesa modificar, se anota el valor de las que no se pueden controlar, y se varían las restantes. Finalmente, se obtiene la información comparando la variación de la respuesta entre experimentos.

2.1.1: Porqué del diseño de experimento factorial

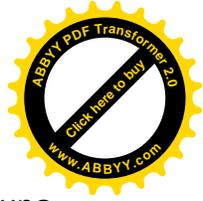
El elevado coste de la experimentación y las limitaciones de tiempo obligan a ejecutar sólo los experimentos imprescindibles. Y el método tradicional de variar un factor cada vez no suele ser la mejor opción. Puede implicar más experimentos de los necesarios y, a pesar de ello, proporcionar sólo información parcial. Por ejemplo, no mostrará si existe interacción entre factores. Las interacciones suelen ser muy corrientes y a veces son los efectos más importantes, por lo que conocerlas es imprescindible para comprender el comportamiento de muchos sistemas.

El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son óptimas para generar la información que se busca. Una de estas estrategias es el diseño factorial completo. Éste describe los experimentos más adecuados para conocer simultáneamente qué efecto tienen k factores sobre una respuesta y descubrir si interaccionan entre ellos. Estos experimentos están planeados de forma que se varían simultáneamente varios factores pero se evita que se cambien siempre en la misma dirección. Esto permite obtener la información con el mínimo número de experimentos (y por tanto, con el menor coste) y con la menor incertidumbre posible (porque los errores aleatorios de las respuestas se promedian).

2.1.2: Determinación de las variables de entrada

Teniendo en cuenta los parámetros que influyen en el proceso de briqueteado, se analizan los mismos con vistas a establecer las variables de entrada para nuestro diseño de experimento y determinar hasta qué punto estos facilitan o perjudican el proceso.

Entre los parámetros variables en el proceso de briqueteado encontramos los siguientes:



1. Humedad de la materia prima: el por ciento de humedad en el aserrín tiene una influencia marcada en el proceso de briqueteado aunque puede ser controlada mediante un secado previo el cual puede ser solar o utilizando parte de los desechos generados por el propio aserradero para garantizar el por ciento recomendado en la literatura consultada.
2. Granulometría de la materia prima: la diferencia de tamaño de partículas en el aserrín de dos procesos distintos de los aserraderos, puede tener una influencia negativa en el proceso de briqueteado al afectar la homogeneidad en el producto final en el caso de mezclarse ambas materias primas.
3. Presión de compactación de la materia prima: la variación de este parámetro es importante para determinar la necesaria para la compactación de la materia prima disponible, pues en la literatura se hace referencia a ella de forma general.

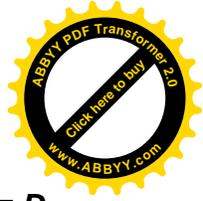
Luego de analizar las distintas variables que pueden influir en el proceso de briqueteado y el posible control de forma sencilla de algunas de ellas, hemos determinado utilizar como variables de entrada en nuestro diseño de experimento la humedad de la mezcla de los desechos de ambos procesos de los aserraderos y la presión de compactación partiendo de la recomendada en la literatura para procesos con alta presión ($1200 \text{ kg/cm}^2 = 118 \text{ MPa}$) la cual usaremos como mínima en nuestro diseño de experimento.

2.1.3: Determinación de las variables respuestas

La finalidad del diseño de experimento que realizamos, es determinar cómo influyen las variables de entrada (por ciento de humedad-presión de compactación) en parámetros estandarizados en el producto final a obtener con la máquina a diseñar.

A continuación enumeraremos los parámetros o posibles variables respuestas que debe garantizar el proceso de densificación para generar un producto de calidad, como son:

1. Densidad final del producto: para la mayoría de los materiales provenientes de la biomasa la densidad máxima es una constante en el intervalo entre 1450 -1500 kg/m^3 , pueden obtenerse de forma regular para los procesos de alta presión



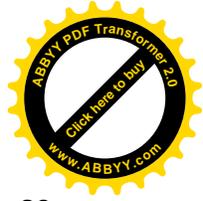
densidades del orden de 1200 – 1300 kg/m³ (*Erickson S. 1990, Dominguez D. J. 2002*).

2. Resistencia a compresión (RC) del producto final: La resistencia a compresión es un criterio importante sobre la durabilidad de las briquetas, pues estas deben ser sometidas durante su vida útil a diversos esfuerzos de compresión durante la transportación o almacenamiento (*Jamradloedluk J. 2005*). El ensayo de este parámetro se realiza por la norma ASTM D 2166-85, donde la carga es aplicada de forma constante a razón de 1 mm/min hasta la total rotura de las briquetas.
3. Resistencia al impacto (RI) del producto final: Al igual que la resistencia a compresión este parámetro es un criterio importante sobre la durabilidad de las briquetas debido a que las mismas durante su extracción, embalaje y posterior empleo (dosificación) serán sometidas a diversos impactos.
4. Humedad final del producto: Para la utilización de las briquetas como combustible es necesario el control de este parámetro el cual se recomienda debe oscilar según normativas europeas DIN 51731; ONORM – M 7135 para pellets y briquetas en el intervalo del 10 y hasta el 18 %.

La calidad de los productos densificados está regida también por sus características energéticas, pero como nuestro estudio se basa en el diseño de la máquina para la realización del proceso solo tendremos en cuenta los parámetros antes descritos para los productos obtenidos.

2.1.4: Diseño de experimento factorial a realizar

Determinadas ya las variables de entrada las cuales son los factores que interesa estudiar, determinamos los valores o niveles que estos pueden tomar para nuestra experimentación. Las variables o factores en nuestro experimento serán, X_1 (por ciento de humedad en la mezcla de los desechos de ambos procesos) y X_2 (presión de compactación a ejercer), estos factores serán evaluados a tres niveles, para X_1 los niveles son, 0% de humedad (aserrín totalmente seco), por ciento de humedad media (50%) y por ciento de humedad con que se generan los desechos (100%) y para X_2 124 MPa (1273 kg/cm²), 166 MPa (1697 kg/cm²) y 207 MPa (2121 kg/cm²), de esta forma



nuestro diseño de experimento factorial toma la forma de 3^2 . En la tabla 2.1 se muestran los factores seleccionados y su dominio experimental.

Tabla 2.1: Factores y dominio experimental

FACTORES		DOMINIO EXPERIMENTAL		
		NIVEL (-1)	NIVEL (0)	NIVEL (+1)
X₁	Humedad (%)	0	50	100
X₂	Presión de compactación (MPa)	124	166	207

A continuación, en la tabla 2.2 mostramos la matriz de experimentos que se obtiene combinando los tres niveles de los dos factores, cada fila es un experimento y cada columna un factor estudiado y el plan de experimentos correspondiente.

Tabla 2.2: Matriz y plan de experimentos

MATRIZ DE EXPERIMENTOS			PLAN DE EXPERIMENTOS	
	X₁	X₂	Humedad %	Presión MPa
1	-1	-1	0	124
2	-1	0	0	166
3	-1	+1	0	207
4	0	-1	50	124
5	0	0	50	166
6	0	+1	50	207
7	+1	-1	100	124
8	+1	0	100	166
9	+1	+1	100	207

Con todo lo antes descrito queda establecido nuestro diseño de experimento para llevarlo a cabo más adelante cuando se determinen otros puntos necesarios para la realización de los mismos como son, las dimensiones del dado y la cantidad de biomasa forestal a procesar. Debemos señalar que de cada experimento se realizaran tres replicas para aumentar la confiabilidad del mismo.



2.2: Características generales de la materia prima

La materia prima a procesar en nuestro estudio es el aserrín resultante de los procesos de los aserraderos, por lo que nos centraremos en las características que posee el mismo que puedan influir en el proceso de compactación, como pueden ser la humedad, la granulometría y la densidad con que estos se obtienen, lo cual llevaremos a efecto colectando previamente muestras de los desechos generados en cada proceso del aserradero Jesús López Carmiño de la ciudad de Santa Clara de forma aleatoria.

2.2.1: Humedad en las muestras del aserrín colectado

La humedad de la materia prima tiene particular influencia en el proceso de densificación (debe oscilar entre un 5-15%, según se recomienda en la literatura consultada (**Machado L. I. 2011**)) por lo que es importante la determinación del por ciento que posee esta para determinar la necesidad o no de un secado previo.

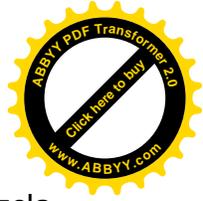
Para conocer el por ciento de humedad en las muestra de la materia prima colectada, tendremos en cuenta la siguiente norma, ASTM D4442-92 – Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials donde se calienta la muestra en estufa a 120 °C hasta llegar a peso constante, los resultados obtenidos se informan sobre la muestra original). (**Machado L. I. 2011**)

Equipamiento y material necesario para la determinación de la humedad en el aserrín colectado.

- Estufa eléctrica para el secado.
- Balanza electrónica digital con precisión de 0,001 gramo.
- Muestras de aserrín colectado por proceso.

Tabla 2.3: Resultados de la determinación de la humedad.

Proceso	Muestra #	Peso Inic. g	Peso 1. g	Peso 2. g	Peso Fin. g	% Hum.
1	M1	200	173.2	133.0	133.0	33.5
	M2	200	175.6	136.4	136.4	31.8
	M3	200	170.3	136.8	136.8	31.6
	Sub-Total					32.3
2	M1	200	178.8	147.6	147.6	26.2
	M2	200	179.4	151.8	151.8	24.1
	M3	200	180.3	152.4	152.4	23.8
	Sub-Total					24.7
Humedad Promedio en la Mezcla						28.5



Por los resultados obtenidos, se puede apreciar que la humedad promedio en la mezcla de las materia prima de ambos procesos tal y como estos son generados supera la máxima recomendada en la literatura, en más de un 10% es por ello que experimentaremos variando este parámetro para determinar la necesidad o no de un secado previo de la misma, el cual se puede llevar a cabo de forma natural (secado solar) debido a nuestras condiciones climáticas o utilizando parte de los desechos de la producción del propio aserradero en un fogón eficiente, lo cual es una ventaja considerable con el fin de disminuir los costos del proceso de densificación.

2.2.2: Granulometría o tamaño de partícula del aserrín

En cuanto al tamaño de partícula del material a densificar, en la literatura consultada, (**González M. L. 2004**) se menciona que, la longitud misma de la partícula dependerá del material y diámetro del dado. Mientras mayor sea la máquina y el dado, mayor podrá ser la partícula.

Como parte de la caracterización de los residuos la clasificación por tamaños de las partículas puede resultar de interés con vistas a la densificación y empleo de la biomasa como combustible, permitiendo la eliminación de las fracciones indeseables o bien el aprovechamiento diferencial de las distintas fracciones granulométricas presentes, el largo de las partículas debe encontrarse entre 8 -10 mm, sin embargo para el caso de matrices de 120 mm de diámetro en prensas hidráulicas de pistón es posible el empleo de partículas con una longitud máxima de hasta 15 mm (**Erickson S. 1990**).

Otros trabajos consultados proponen una granulometría menor, siendo factible el uso de partículas de tamaño no mayor a 2 mm para fabricar briquetas de residuos agrícolas (tallos de yuca) (**Wilaipon P. 2007**) o en el caso de mazorcas de maíz partículas de hasta 5 mm. (**Chin O. C. 2000**) Propone para el uso del aserrín el empleo de partículas de diámetros entre 0.3 – 0.85 mm.

En trabajos consultados realizados con anterioridad (**Machado L. I. 2011**) se encontró un muestreo realizado en el aserradero Jesús López Carmiño de la ciudad de Santa Clara según la norma (ASAE Standard S319.3.) para la determinación de la distribución del tamaño de partícula en el aserrín resultante de los procesos de dicho aserradero el cual mostramos a continuación en la tabla 2.4.



Tabla 2.4: *Granulometría o tamaño de partícula.*

Intervalo de diámetro mm	Contenido %
$d \geq 20,4$	0,68
$20,4 \geq d \geq 11,1$	1,02
$11,1 \geq d \geq 7,93$	0,68
$7,93 \geq d \geq 5,66$	3,06
$5,66 \geq d \geq 4,00$	0,68
$4,00 \geq d \geq 2,50$	8,50
$2,50 \geq d \geq 0,84$	60,54
$0,84 \geq d$	24,84

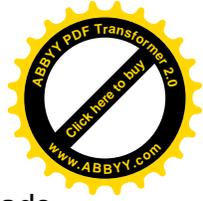
Se puede apreciar en la tabla anterior que el mayor por ciento (85%) de tamaño de partícula del aserrín colectado de diferentes procesos del aserradero es inferior a los 2.5 mm por lo que realizaremos un tamizado previo del aserrín que se utilizara en la elaboración de las briquetas para garantizar la homogeneidad en la granulometría de la misma por debajo de los 2.5 mm.

2.2.3: Densidad de la materia prima colectada

En este trabajo consideramos también importante conocer la densidad real de carga de la materia prima a procesar, para a partir de esta calcular las dimensiones del dado, la cantidad de materia a emplear (en peso y volumen) por dado y la cantidad de residuos de este tipo que reciclaremos para obtener el producto densificado con las dimensiones y densidad que se desean.

La densidad real de carga será la densidad obtenida al llenar una probeta graduada mientras se va asentando la materia prima en la misma con leves sacudidas, la misma será determinada luego del acondicionamiento de la humedad de varias muestras destinadas a la realización del diseño de experimento. Los valores de la humedad serán, 0% (total mente seco), 28,5% (tal y como se generan) y 14,25% (la media entre las anteriores).

Para este fin se preparara una probeta con dimensiones específicas ($\varnothing 3$ cm y L15 cm) para el control del volumen (106 cm^3) y se empleara una balanza con determinada precisión para el pesaje de las muestras y de esa forma se realizara un muestreo con el



aserrín colectado y mezclado de diferentes procesos luego de tamizados y determinado el por ciento de humedad que poseen dichas muestras y así, promediando los resultados obtenidos determinar la densidad de la materia prima.

Equipamiento y material necesario para la determinación de la densidad promedio del aserrín colectado.

- Probeta graduada.
- Balanza electrónica digital con precisión de 0.001 gramo.
- Muestras del aserrín colectado por proceso.

Tabla 2.5: *Resultados del muestreo para la determinación de la densidad.*

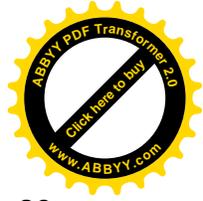
Humedad %	Volumen cm ³	Muestra	Peso. g	Densidad. g/cm ³
0	106	1	29	0,27
		2	30	0,28
		3	29	0,27
14.25	106	1	29	0,27
		2	29	0,27
		3	29	0,27
28.50	106	1	31	0,29
		2	32	0,30
		3	32	0,30

Densidad Promedio: —————> (0.28)

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior se determina la densidad promedio que posee cada muestra luego de su acondicionamiento previo, la cual tomaremos en cuenta para los cálculos posteriores en nuestro trabajo.

2.2.4: Determinación de la presión necesaria de compactación

La presión necesaria podemos estimarla según la clasificación del proceso de densificación que llevaremos a cabo (bajas, medias o altas presiones) y el área de la sección transversal de la briqueta.



En la literatura consultada, (para procesos con alta presión de compactación) se plantea una presión a ejercer de 1200 kg/cm^2 , (118 MPa) para alcanzar una densidad entre 950 y 1300 kg/m^3 ; tomando esta como referencia y el área de la sección transversal de la briqueta a obtener, según requerimientos del cliente, nos reporta una presión necesaria de $(1200 \text{ kg/cm}^2 * 7,07 \text{ cm}^2) = 8343 \text{ kg} = 8,3 \text{ Toneladas}$.

Para determinar la presión de compactación necesaria para el aserrín que será utilizado en nuestro trabajo, utilizaremos el dato empleado para la determinación de la densidad y se realizaran los ensayos en una prensa universal de ensayo ZD-40, empleando los intervalos de presiones seleccionados para nuestro diseño de experimento en vistas de garantizar las variables de salidas establecidas para la calidad del producto final.

2.2.5: Determinación de las dimensiones del dado y la cantidad de materia prima a emplear para su llenado en peso y volumen

Para la determinación de las dimensiones del dado partimos de las deseadas en el producto densificado, cuyo diámetro debe ser de $\text{Ø}30 \text{ mm}$ y su longitud de 60 mm . Contando además con la densidad de la materia prima a procesar, determinada en el epígrafe anterior y el rango de densidad deseada en el producto final, según estándares, podemos definir dichas dimensiones mediante cálculos y ensayos sencillos. Como datos de entrada contamos con el diámetro de la briqueta y su longitud, partiendo de lo cual podemos calcular el volumen de la misma para luego, multiplicando este por la densidad deseada en el producto final, determinar la cantidad de biomasa a emplear en peso (gramos).

Datos:

- Diámetro de la briqueta (d_b) = 3 cm
- Longitud de la briqueta (l_b) = 6 cm
- Densidad deseada en la briqueta (D_b) = $0,8 \text{ g/cm}^3$
- Volumen de la briqueta (V_b) = Incógnita, resultados en cm^3 .
- Peso de la briqueta (P_b) = Incógnita, resultado en gramos.



Formulas y ecuaciones:

$$1. (V_b) = \frac{\pi * d_b^2}{4} * l_b = \frac{3.1416 * (3 \text{ cm})^2}{4} * 6 \text{ cm} = 42.39 \text{ cm}^3$$

$$2. (P_b) = V_b * D_b = 42.39 \text{ cm}^3 * 0.8 \text{ g/cm}^3 = 33.9 \text{ g}$$

De los cálculos anteriores se deduce que el dado a dimensionar debe coleccionar al menos 33.9 g de biomasa para lograr la briqueta con las dimensiones y densidad deseada.

Sabiendo entonces la densidad de carga promedio de la materia prima coleccionada (aserrín) y siguiendo la secuencia de cálculos que a continuación mostramos podremos determinar el volumen de biomasa para el llenado del dado y con ella, la longitud del mismo, conociendo el diámetro por los requerimientos del cliente.

Tomando datos como, el peso de la briqueta; que es el mismo que tendrá el aserrín a emplear en el llenado del dado; dividido entre la densidad de carga de la materia prima, calculamos el volumen que debe tener el dado y conociendo que el diámetro de la briqueta es el mismo que el del dado, dividiendo el volumen del dado anteriormente calculado entre el área de la sección transversal del mismo obtenemos su longitud.

Datos:

- Peso de la materia prima ($P_m = P_b$) = 33,9 g
- Densidad de carga de la materia prima (D_m) = 0,28 g/cm³
- Diámetro del dado ($d_d = d_b$) = 3 cm
- Volumen del dado (V_d) = Incógnita, resultados en cm³.
- Longitud del dado (l_d) = Incógnita, resultados en cm.

Formulas y ecuaciones:

$$1. (V_d) = \frac{P_m}{D_m} = \frac{33.9 \text{ g}}{0.28 \text{ g/cm}^3} = 121 \text{ cm}^3$$



$$2. (l_d) = \frac{V_d}{\frac{\pi * d_d^2}{4}} = \frac{121 \text{ cm}^3}{\frac{3.1416(3 \text{ cm})^2}{4}} = 17 \text{ cm}$$

Con los cálculos anteriormente desarrollados hemos completado el dimensionamiento interior del dado a emplear para la obtención del producto con las características exigidas, lo cual nos permitirá posteriormente determinar parámetros como la cantidad de dados a emplear en dependencia del gato hidráulico seleccionado y la cantidad de biomasa a reciclar en peso y volumen en el proceso de briqueteado, además de la productividad de la máquina.

2.3: Elaboración de briquetas y ensayos de resistencia

Para la determinación de la calidad del producto (briqueta) obtenido, se realizarán una serie de experimentos y ensayos sobre algunos parámetros necesarios en los mismos, teniendo en cuenta las normativas existentes, como son, su densidad la cual reporta beneficios para su uso como combustible así como su resistencia tanto a compresión como a impacto para asegurar su manipulación y almacenamiento.

2.3.1: Experimento de compactación

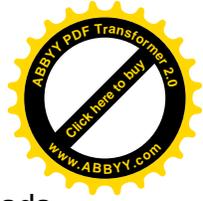
Para la realización de este experimento se utilizará la probeta metálica utilizada para la determinación de la densidad de la materia prima con las dimensiones ya establecidas (Ø3 cm x 15 cm) y su correspondiente pistón y se utilizará una prensa hidráulica para ensayos ZD 40 con manómetro, además se seguirán los pasos de la matriz y el plan de experimentos detallados en el sub-epígrafe 2.1.4 del presente capítulo con sus correspondientes replicas.

La materia prima a utilizar es la mezcla de los desechos generados por el aserradero, con su correspondiente acondicionamiento de la granulometría y los intervalos de humedad detallados en el sub-epígrafe 2.2.1 del presente capítulo.



Tabla 2.6: Resultados del experimento de compactación.

Experi- mento.	Replica	Hum. %	Presión MPa	Peso g	Ø cm	Long. cm	Volum. cm ³	Densid. g/cm ³
1	1-I	0,00	124	29	3,1	4,8	36,5	0,8
	1-II	0,00	124	29	3,1	4,6	34,6	0,8
	1-III	0,00	124	28	3,1	4,3	32,8	0,9
2	2-I	0,00	166	30	3,1	4,3	32,3	0,9
	2- II	0,00	166	31	3,1	4,3	32,7	0,9
	2- III	0,00	166	32	3,1	4,5	34,1	0,9
3	3- I	0,00	207	30	3,1	3,9	29,6	1,0
	3- II	0,00	207	30	3,1	4,0	30,5	1,0
	3- III	0,00	207	29	3,1	3,9	29,5	1,0
4	4- I	14,25	124	29	3,1	4,6	34,4	0,8
	4- II	14,25	124	29	3,1	4,5	34,1	0,9
	4- III	14,25	124	29	3,1	4,4	33,5	0,9
5	5- I	14,25	166	30	3,1	4,3	32,7	0,9
	5- II	14,25	166	29	3,1	4,3	32,6	0,9
	5- III	14,25	166	30	3,1	4,4	33,1	0,9
6	6- I	14,25	207	29	3,1	4,1	31,2	0,9
	6- II	14,25	207	29	3,1	4,2	31,9	0,9
	6- III	14,25	207	29	3,1	4,3	32,5	0,9
7	7- I	28,50	124	X	X	X	X	X
	7- II	28,50	124	X	X	X	X	X
	7- III	28,50	124	X	X	X	X	X
8	8- I	28,50	166	X	X	X	X	X
	8- II	28,50	166	X	X	X	X	X
	8- III	28,50	166	X	X	X	X	X
9	9- I	28,50	207	X	X	X	X	X
	9- II	28,50	207	X	X	X	X	X
	9- III	28,50	207	X	X	X	X	X



Durante la obtención de cada muestra de briqueta esta ha sido clasificada e identificada para realizar una serie de ensayos sobre ella y la posterior evaluación de las variables respuestas definidas anteriormente que garanticen su calidad.

Como puede apreciarse en los resultados de la tabla anterior en las muestras con él por ciento de humedad superior (tal y como se generan) no fue posible lograr una consistencia que posibilitara su manipulación con ninguna de las presiones empleadas, por lo que no fue posible la determinación de las dimensiones y densidades resultantes además de no existir muestras para los ensayos que posteriormente llevaremos a efecto.

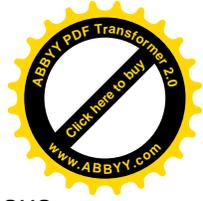
2.3.2: Determinación de la densidad relajada (DR)

Para llevar a cabo el control de las dimensiones del producto obtenido se irá comprobando las mismas a medida que sean extraídas del dado y luego de transcurridas 24 horas de relajación del mismo, se vuelven a verificar dichas dimensiones.

Una importante característica del sólido combustible es su densidad, mayor densidad reporta ventajas tanto desde el punto de vista técnico económico como energético (**Bhattacharya S. C. 2002**). En este acápite se realiza el análisis de los resultados correspondientes a la densidad relajada.

Para la investigación de la densidad de las briquetas serán utilizadas las recomendaciones de la norma ASAE S269.4. DEC. Como se comentó en el sub-epígrafe 2.1.3 del presente capítulo para la mayoría de los materiales provenientes de la biomasa la densidad máxima es una constante en el intervalo entre 1450 -1500 kg/m³, sin embargo la densidad que se obtiene es usualmente de 600 - 700 kg /m³ (6 – 7 g/cm³) e inclusive en ocasiones menor (**Erickson S. 1990, Dominguez D. J. 2002**).

Teniendo en cuenta los amplios límites que la densidad puede adoptar en función de diversos factores se establece como límite de aceptación en cuanto a la densidad relajada (DR) para las briquetas ensayadas en este trabajo el intervalo entre 0,7 – 1,0 g/cm³.

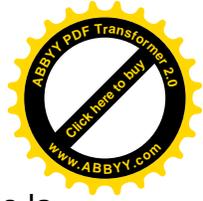


La densidad de las briquetas es calculada a partir de las mediciones promedio de sus dimensiones y de su peso (diámetro y altura con Pie de Rey con precisión 0,1 mm y la masa con balanza electrónica digital de precisión 0,001 gramos). Los resultados pueden apreciarse en la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Densidad relajada (DR) y % de relajación

Experi- mento.	Replica	Peso g	Ø cm	Long. cm	Densid. g/cm ³	DR (24 h) g/cm ³	Relajación %
1	1-I	29	3,1	6,0	0,8	0,6	19,3
	1-II	29	3,1	5,9	0,8	0,6	22,9
	1-III	28	3,1	5,4	0,9	0,7	18,9
2	2-I	30	3,1	5,3	0,9	0,7	19,2
	2-II	31	3,1	5,4	0,9	0,8	19,4
	2-III	32	3,1	5,5	0,9	0,8	17,8
3	3-I	30	3,1	4,7	1,0	0,8	16,9
	3-II	30	3,1	4,9	1,0	0,8	17,7
	3-III	29	3,1	4,9	1,0	0,8	21,0
4	4-I	29	3,1	4,8	0,8	0,8	4,2
	4-II	29	3,1	4,6	0,9	0,8	1,3
	4-III	29	3,1	4,6	0,9	0,8	2,8
5	5-I	30	3,1	4,5	0,9	0,9	3,8
	5-II	29	3,1	4,4	0,9	0,9	2,5
	5-III	30	3,1	4,6	0,9	0,9	4,1
6	6-I	29	3,1	4,2	0,9	0,9	1,4
	6-II	29	3,1	4,4	0,9	0,9	4,5
	6-III	29	3,1	4,5	0,9	0,9	4,4

Se puede apreciar en los resultados de la tabla anterior la mayor variación en el porcentaje de relajación de las muestras con el aserrín total mente seco en comparación con las de contenido medio de humedad lo cual demuestra la importancia que tiene este parámetro en el proceso de compactación, pues su comportamiento es



inversamente proporcional (estando está dentro del intervalo recomendado), mientras la presión con la biomasa seca presenta una relación inversa y con el porcentaje de humedad recomendado se mantiene estable.

2.3.3: Determinación de la resistencia a compresión de las briquetas

Este parámetro de tanta importancia para el almacenaje y transporte de los productos densificados lo evaluaremos por la norma ASTM D 2166-85 la cual plantea aplicar una carga a razón de 1mm/min hasta la rotura de la briketa y los resultados se informaran sobre la muestra original.

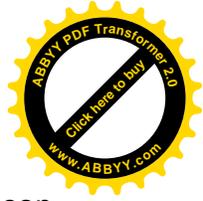
El ensayo será realizado en una prensa universal para ensayos mecánicos alemana ZD 40, el mismo se llevara a cabo sobre una réplica de cada experimento seleccionada de forma aleatoria.

La metodología a emplear será la siguiente:

1. Se tomara una réplica de cada experimento y se le acondicionarán sus extremos para garantizar el contacto en la prensa.
2. Se regularán los mecanismos necesarios en la prensa para garantizar el desplazamiento de 1 mm/minuto recomendado por normativas para estos tipos de ensayos.
3. Se aplicara la carga hasta la total rotura de la briketa para luego evaluar los resultados.

Tabla 2.8: Resultados del ensayo de resistencia a compresión (RC)

Experimento.	Replica	Humedad %	Presión Comp.	Presión Rot. MPa	Fuerza kg
1	1-III	0,00	124	6,3	457
2	2-I	0,00	166	6,2	450
3	3- III	0,00	207	5,5	400
4	4- I	14,25	124	13,8	1000
5	5- II	14,25	166	18,0	1300
6	6- III	14,25	207	19.4	1400



Los resultados del ensayo de compresión realizado a las muestras fabricadas con diferentes porcentos de humedad (0 y 14.25%) y diferentes presiones (124, 166 y 204 MPa), demuestran que la RC tiene relación directa con estos factores, pues puede apreciarse que con cero por ciento de humedad la presión influye de forma negativa sin embargo con un contenido medio (5 a 15 %) su influencia es al aumento.

2.3.4: Determinación del índice de resistencia al impacto (IRI) de las briquetas

Chin (2000) demuestra la relación entre el IRI y las propiedades de los materiales sueltos, donde las briquetas de aserrín presentan mayor durabilidad que las elaboradas con otros residuos como la paja de arroz o la fibra de coco, (*Olorunnisola A. 2007*) ha encontrado valores del IRI entre el 96.5 – 98.5% para briquetas fabricadas de desechos de papel que aún con densidades inferiores, 0.450 g/cm^3 presentan una adecuada resistencia al impacto, probablemente debido al efecto de los mecanismos de aglomeración producidos por la pasta de papel.

Las normas ASTM D440-86 y ASAE S269.3 son usualmente empleadas para el control del índice de resistencia al impacto (IRI) de combustibles fósiles sólidos y briquetas de alta densidad (*Demirbas A. 2004; Dominguez, D. J. 2002*). El siguiente método de ensayo es el que se considera como criterio para la evaluación, las muestras se dejan caer desde un metro de altura sobre un piso de hormigón, se toman los grandes pedazos en que pueda dividirse pesando los desprendimientos que dejan de formar parte del objeto sólido densificado (Martirena, 2002, Gonzáles, 2003), la diferencia porcentual entre el peso inicial y las pérdidas después del impacto determinan el índice de resistencia al impacto (IRI), siguiendo estos criterios en este trabajo se consideran inadecuadas las briquetas con pérdidas superiores al 10% de su peso, teniendo en cuenta que no se emplea ningún tipo de aglomerante.

Para la determinación del índice de resistencia al impacto (IRI) usaremos la siguiente metodología:

1. Tomaremos una réplica de cada experimento realizado.
2. Se ubicaran sobre una plataforma de un metro de altura.



3. Luego se empujaron levemente para que caigan contra un piso de hormigón.
4. Por último se tomara el fragmento de mayor tamaño y se pesara para determinar el porciento perdido sobre el peso original.

En la tabla 2.9 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a impacto.

Tabla 2.9: Índice de resistencia al impacto de las briquetas.

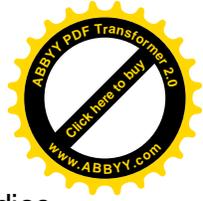
Experi- mento.	Replica	Hum. %	Presión MPa	Peso Ini. g	Peso Fin. g	IRI %
1	1-II	0.00	124	29	16	55
2	2-II	0.00	166	31	20	65
3	3- I	0.00	207	30	20	67
4	4- III	14.25	124	29	26	90
5	5- III	14.25	166	30	28	93
6	6- I	14.25	207	29	28	97

Los resultados anteriormente obtenidos demuestran la relación entre el porciento de humedad y la presión con la durabilidad del producto densificado en cuanto a la resistencia al impacto, donde la humedad (dentro del intervalo recomendado) resulta beneficiosa, mientras la presión posee una relación directamente proporcional.

2.3.5: Valoración de los resultados de la durabilidad de las briquetas

Mostraremos a continuación el comportamiento de los productos densificados durante los ensayos de resistencia tanto a compresión como a impacto y la relación de la humedad y la presión con el porciento de relajación de los mismos.

Para mayor apreciación de los resultados, mostraremos a continuación las gráficas correspondientes a la relación entre la humedad y la presión de compactación en el porciento de relajación; también entre los dos primeros parámetros antes mencionados



y la resistencia a compresión (presión de rotura) y por último la de estos con el índice de resistencia al impacto.

Figura 2.1: *Diagrama de influencia en el % de relajación.*

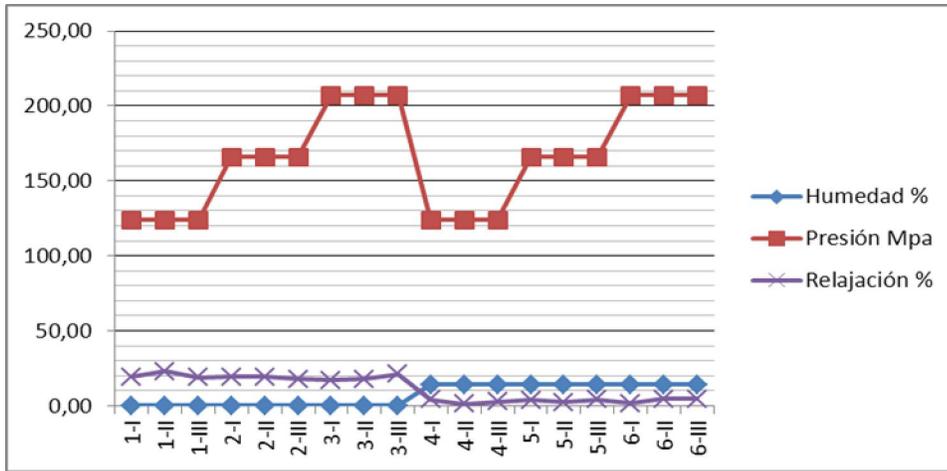


Figura 2.2: *Diagrama de influencia en la resistencia a compresión.*

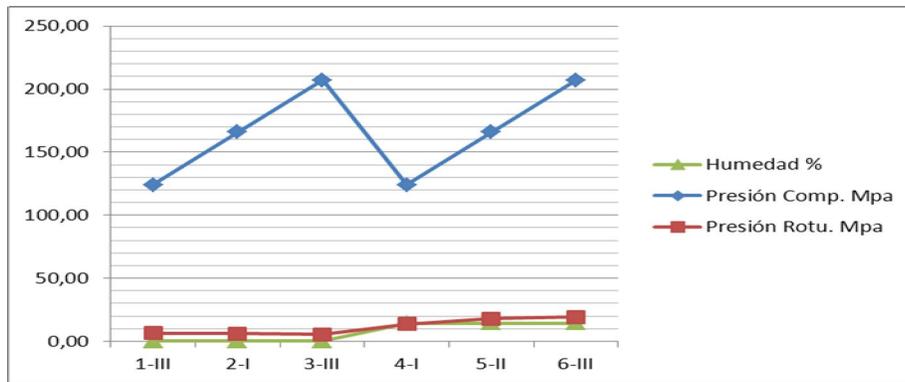
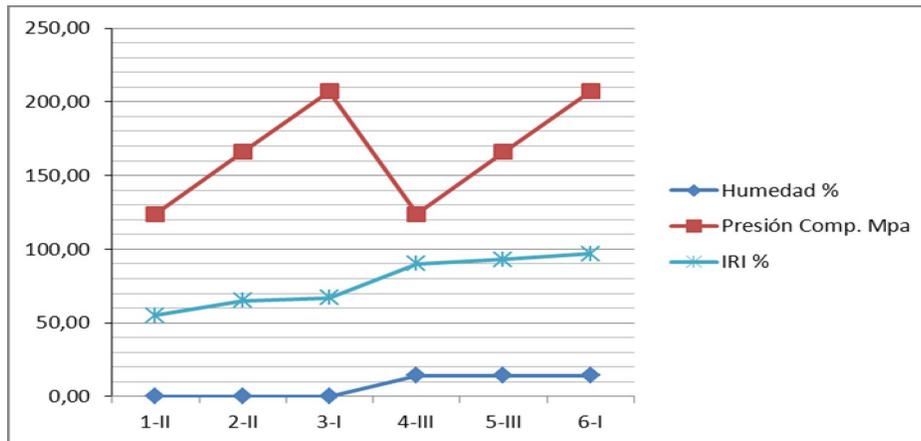
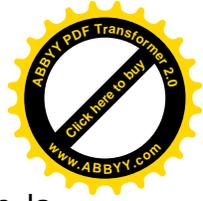


Figura 2.3: *Diagrama de influencia en la resistencia al impacto.*





Con la exposición de estos resultados que muestran el trabajo realizado durante la investigación, concluimos el presente capítulo destacando la importancia del mismo para la toma de decisiones correspondientes al proceso de diseño que posteriormente llevaremos a cabo. En el anexo 2 se muestran imágenes del trabajo realizado y los medios y equipos empleados para llevar a cabo el proceso de experimentación.

2.4: Conclusiones del capítulo

- Se ha confirmado mediante la experimentación la influencia de la humedad en el proceso de densificación, la cual debe oscilar en el rango recomendado en la literatura consultada para la obtención de productos de calidad.
- El acondicionamiento de la granulometría de la materia prima, para garantizar la homogeneidad del producto densificado y el aprovechamiento diferenciado de los desechos de los aserraderos, debe ser un aspecto a tener en cuenta cuando se aborde un proyecto de esta índole.
- Es posible llevar a cabo el proceso de densificación en los propios aserraderos para de esa forma minimizar los gastos que provocaría la transportación de los desechos, además de que adecuando los sistemas de extracción de los mismos se puede garantizar el acondicionamiento de estos sin gastos adicionales.



CAPÍTULO 3: Cálculos de diseño y productividad

3.0: Introducción

El presente capítulo posee la importancia de seleccionar los materiales para la construcción de la máquina basándose en los empleados luego del diseño de los elementos y sus correspondientes cálculos de resistencia, además de tener en cuenta los posibles métodos de elaboración de los mismos para no encarecer el producto final.

Durante el desarrollo del tema se irán detallando los elementos de la máquina con sus dimensiones y cálculos que garanticen su funcionamiento eficiente además de la obtención de los planos para la elaboración de los mismos. Los planos de cada elemento se mostraran en el anexo 3.

Reflejaremos también el esquema del proceso de densificación propuesto y los tiempos estimados para la realización de cada etapa, así como los volúmenes de materia prima posibles a procesar con la máquina que se diseña.

3.1: Diseño general de la prensa briqueteadora

En este primer epígrafe del capítulo nos centraremos en el diseño y dimensionado de los elementos de la máquina briqueteadora, proponiendo desde ya los materiales a emplear en su construcción, a los cuales luego se le realizaran sus correspondientes cálculos de resistencia, para lo cual incluiremos las características del gato hidráulico a nuestra disposición que servirá de referencia para la determinación de algunos aspectos necesarios como la altura y ancho de la estructura y la cantidad de dados a emplear en la prensa partiendo del tonelaje que este nos garantiza.

La procedencia del cilindro hidráulico es de la antigua Unión Soviética y las dimensiones básicas son, 190 mm de diámetro en el pistón con un desplazamiento de 200 mm; 310 mm de altura y un peso de 25 kg, la bomba está diseñada para aportar una potencia de 140 toneladas (1373 KN).

3.1.1: Diseño y dimensionamiento de la estructura de la prensa

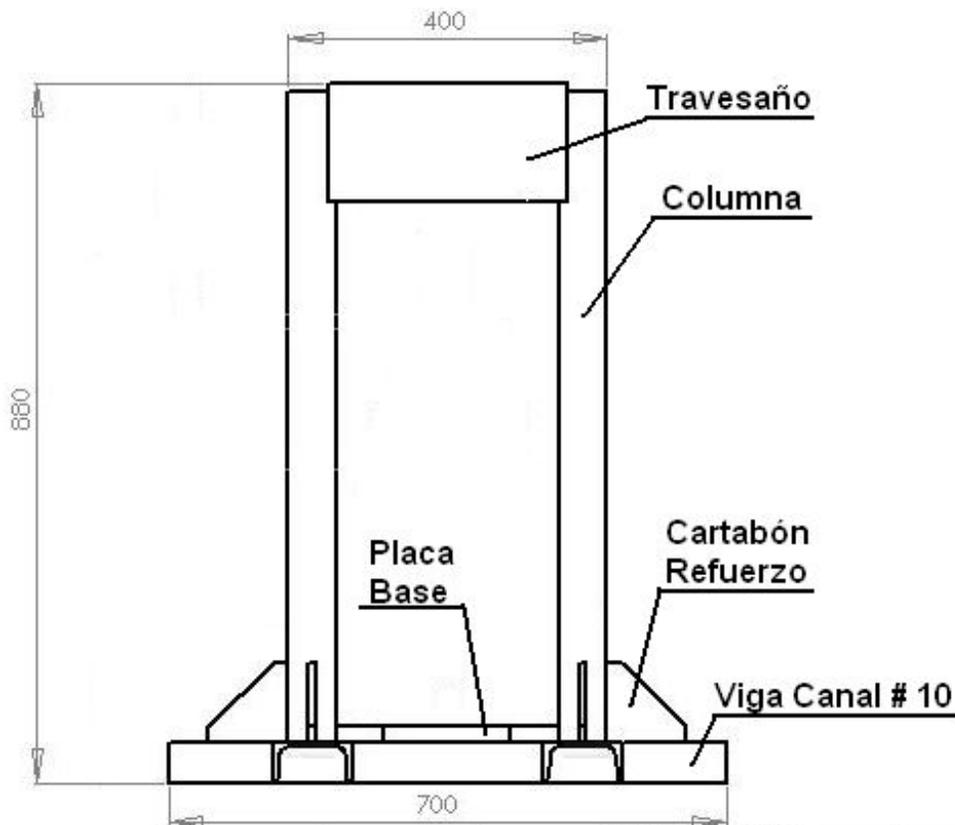
La estructura de la prensa tiene la función de soportar la placa superior donde estarán emplazados los pisadores y en su base se colocara el gato hidráulico, además,

funcionara como una especie de cepo que debe soportar la presión de compactación a ejercer.

Esta estructura estará compuesta de vigas canales N° 10 con las cuales se ejecutara la base, barras cuadradas de acero AISI 1020 estirado en frio cuyas dimensiones son 60 x 60 x 870 mm para la elaboración de las columnas, las cuales se fijaran a la base mediante soldadura reforzándolas con cartabones de chapas de acero AISI 1020 de 10 mm de espesor y una placa inferior también de acero AISI 1020 de 280 x 200 x 20 mm de espesor fija a la base donde será acoplado el cilindro del gato hidráulico.

En la parte superior se colocara un travesaño fijado también mediante soldadura, elaborado de una barra cuadrada de acero AISI 1040 estirado en frio y las siguientes dimensiones, 150 x 150 x 300 mm. En la figura 3.1 se muestra el esquema de la estructura, sus elementos y las dimensiones generales de la misma.

Figura 3.1: Esquema general de la estructura.



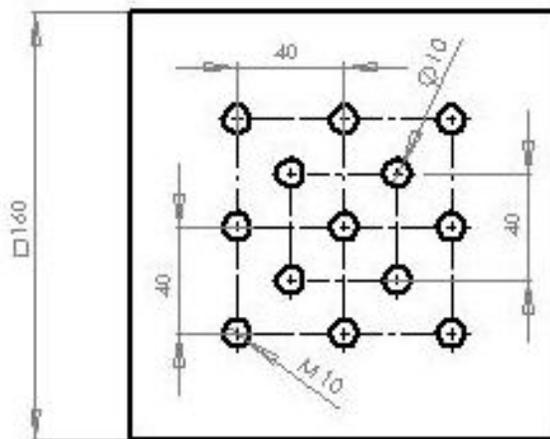
3.1.2: Diseño y dimensiones de la placa superior

En la placa superior se colocaran los pisadores que compactaran la biomasa dentro de los dados y estará sujeta al travesaño mediante tornillos estandarizados (M10 x 1.25 de 40 mm de longitud) para facilitar el ensamblaje y la intercambiabilidad de dicho elemento.

La misma será elaborada de una plancha de acero AISI 1020 con las dimensiones siguientes, 160 x 160 x 20 mm de espesor, en su centro se distribuirán los orificios para colocar los pisadores y los tornillos de fijación al travesaño.

Este elemento estará sometido a esfuerzo de compresión por la carga generada por el gato hidráulico transmitida a través de los pisadores y contra el travesaño al cual será acoplada. A continuación mostramos un esquema de la misma.

Figura 3.2: Esquemas de la placa superior.



Las dimensiones de la placa se debe al proceso que llevamos a cabo con altas presiones, en el caso de utilizar la prensa para otro proceso puede sustituirse esta por una mayor con más pisadores.

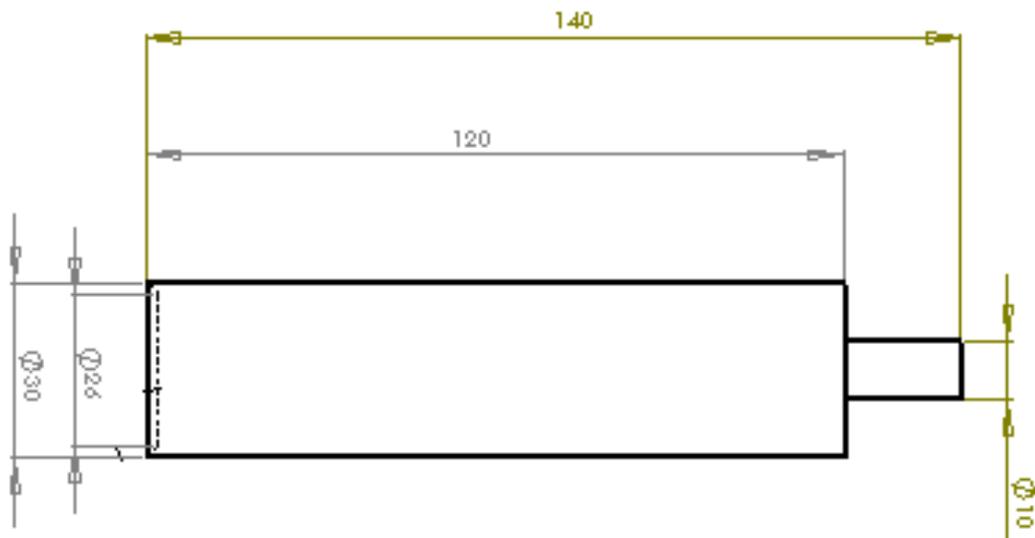
3.1.3: Diseño y dimensiones de los pisadores

El dimensionamiento de los pisadores depende de los diámetros de las briquetas a elaborar y la presión a ejercer para determinar el desplazamiento que tendrá el mismo,

es por ello que en este trabajo nos centraremos en las del producto densificado que se requiere y la presión necesaria para su obtención.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto recomendamos emplear para los mismos una barra de acero AISI 1040 estirado en frío para la elaboración de los necesarios para la máquina briqueteadora que en nuestro caso serán nueve para garantizar una distribución uniforme y empleando 204 MPa por dado, mientras para el extractor y las bases de los moldes que se someten a menores presiones utilizar el AISI 1020 con otras formas y dimensiones.

Figura 3.3: Esquema de los pisadores.



Las dimensiones de los otros elementos antes mencionados son similares a la de los mostrados anteriormente variando la forma y la longitud total, la cual será de 80 mm para los pisadores del extractor y la base de los dados es la parte de la extrema izquierda pero con una longitud de 5 mm y su correspondiente bisel de 2 mm x 45°.

3.1.4: Diseño de la bandeja de moldes

La bandeja de moldes al igual que los pisadores depende del proceso de briquetado a emplear, es por ello que diseñaremos la que satisfaga las necesidades para el proceso a desempeñar por nuestra máquina. Para el dimensionado de la bandeja, antes determinaremos la forma y dimensiones de los dados a emplazar en la máquina y su

cantidad, como consecuencia de la presión disponible con el gato hidráulico con que contamos y la recomendada según el diseño de experimento realizado.

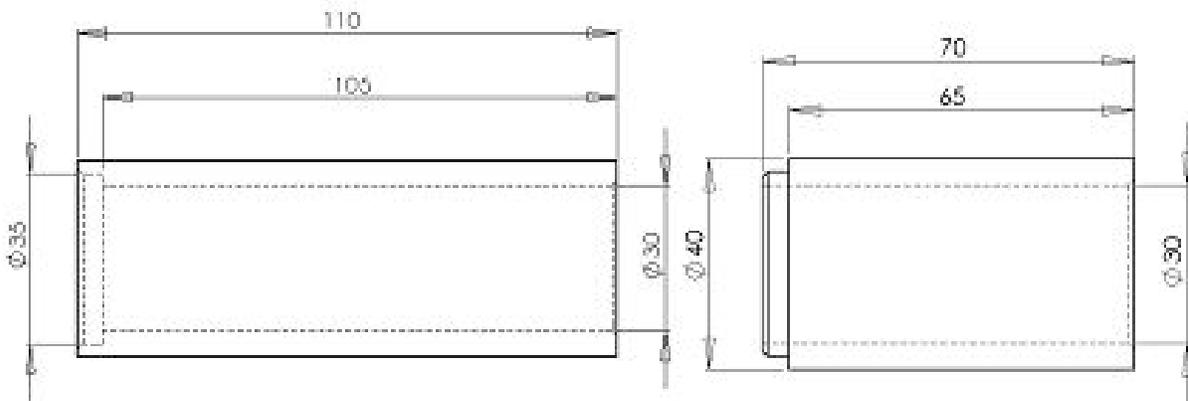
3.1.4.1: Dimensionado final de los dados

Para el diseño de experimento realizado en el capítulo anterior se empleó el dado elaborado para la determinación de la densidad de la materia prima, el cual poseía dimensiones fijas; en este epígrafe utilizaremos las dimensiones calculadas en el subepígrafe 2.2.5 del capítulo 2 y le realizaremos algunos ajustes en el diseño para garantizar una extracción más rápida y el ahorro de materiales en el proceso de elaboración de los pisadores del extractor al disminuir su longitud.

La propuesta que desarrollaremos es la de elaborar los dados en dos secciones acopladas, una que contenga la biomasa luego de compactada y otra que tendrá la función de colectar la materia prima necesaria antes del proceso de compactación para la obtención de las dimensiones y densidad del producto exigido.

Las secciones de los nueve dados a emplear serán elaboradas de una barra de acero AISI 1020 de 40 mm de diámetro y tendrán las dimensiones y formas que se detallan en la figura 3.4.

Figura 3.4: Forma y dimensiones de los dados superior e inferior.



De esta forma quedan diseñados y dimensionados los dados que se emplearán para ocupar la bandeja de moldes, en la cual se ubicarán nueve de estos para la propuesta de densificación con alta presión que se estudia en este trabajo.

3.1.4.2: Dimensiones de la bandeja de moldes

La bandeja de moldes será la encargada de retener los dados donde se compactara la biomasa, sus dimensiones pueden variar en dependencia del proceso a llevar a efecto y por ello al número de dados a emplear, buscando siempre una distribución simétrica de los mismos.

Para la bandeja se construirán cuatro cepos o trampas para la retención de las secciones de los dados y así facilitar el montaje y desmontaje de las mismas, estos cepos se elaboraran de angulares de alas iguales de 20 mm, además se utilizara una chapa de acero AISI 1020 de 1.5 mm de espesor para colocar como tapa en la parte inferior.

En la figura 3.5 y 3.6 mostramos los esquemas de los cepos o trampas para la retención de los dados y de la chapa inferior con las dimensiones correspondientes a los pliegues necesarios para su acoplamiento, en las alas laterales de los cepos.

Figura 3.5: Esquema de los cepos y sus dimensiones.

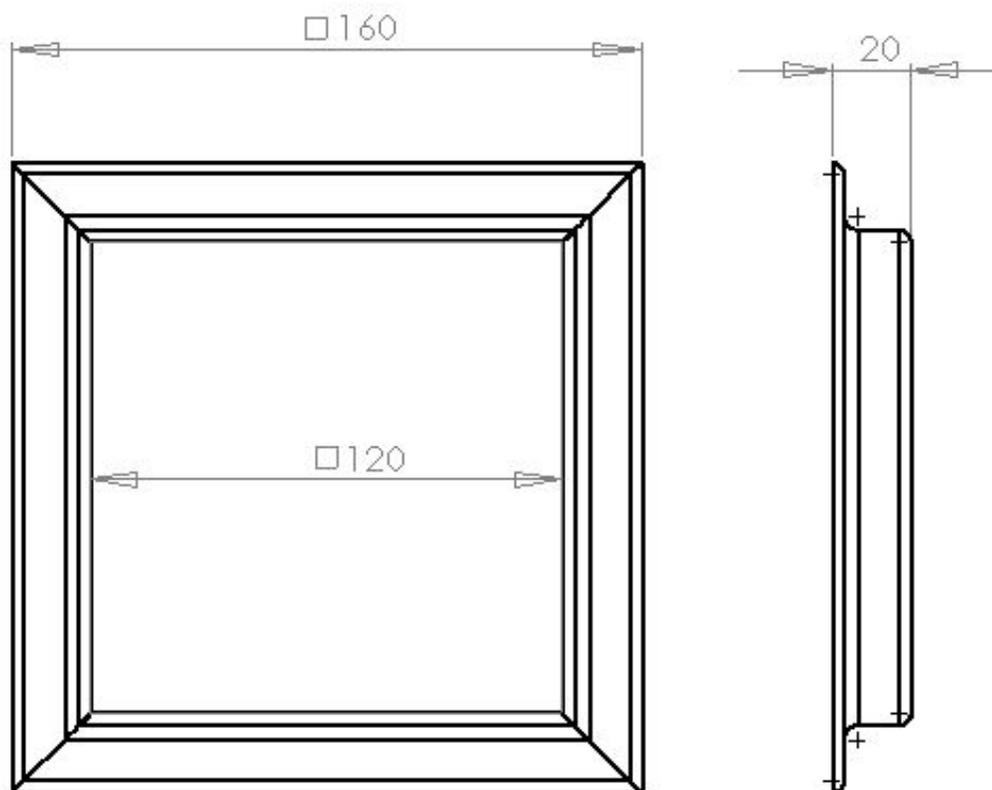
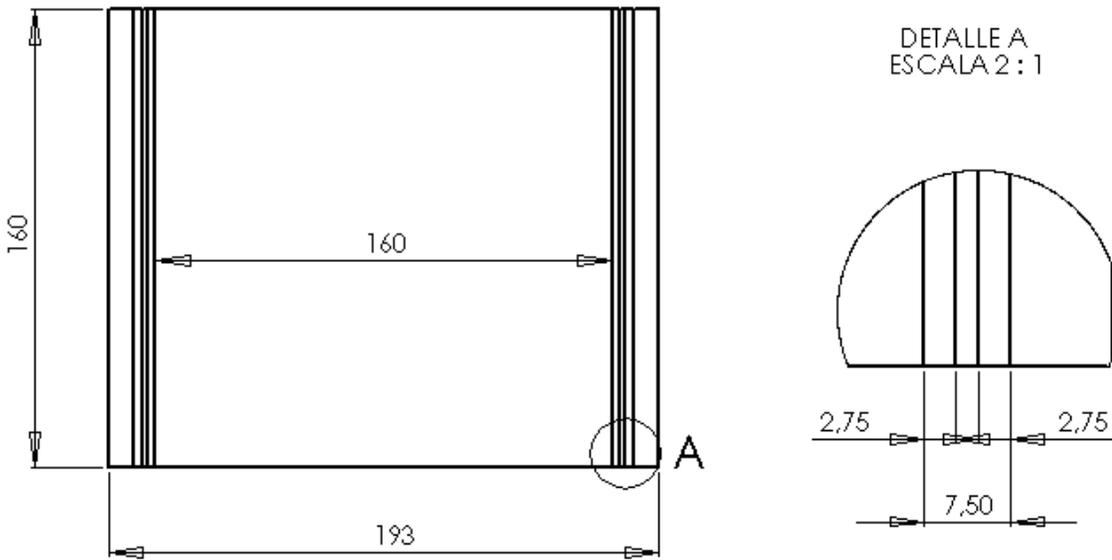
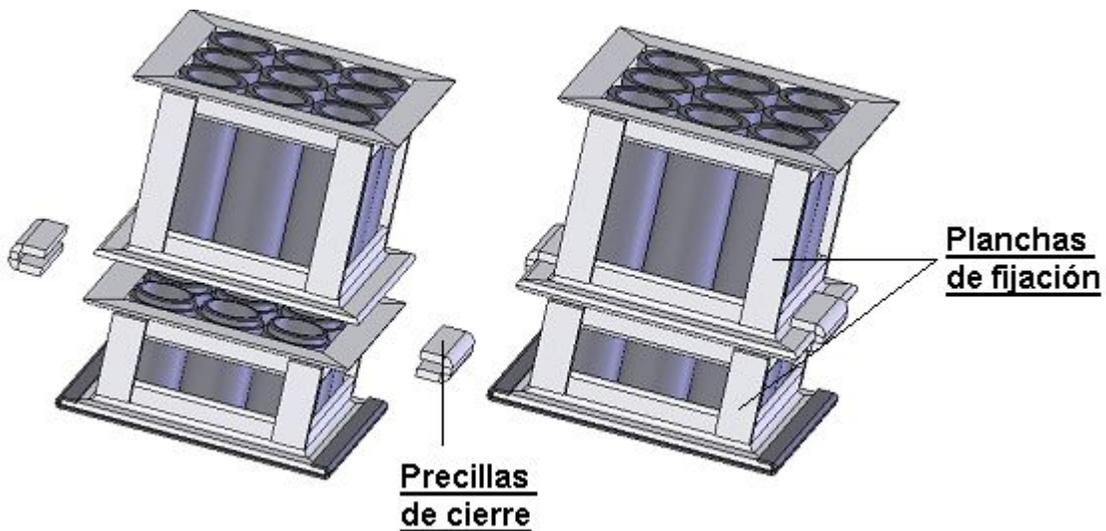


Figura 3.6: Esquema y dimensiones de la chapa.



La bandeja de moldes consta de otros elementos de fijación que no se detallaran pero se mostraran en la próxima figura 3.7, la cual representara la misma de forma general incluyendo la forma de acoplamiento entre ambas secciones.

Figura 3.7: Esquema general de la bandeja de moldes.



Los elementos señalados en las imágenes anteriores son los encargados de completar la bandeja de moldes pero no se detallaran por su simplicidad de elaboración, solo mencionaremos en este epígrafe que se obtienen de chapas de acero AISI 1020 de

5mm de espesor. En los planos de los anexos se podrán encontrar todos los datos referentes a los mismos.

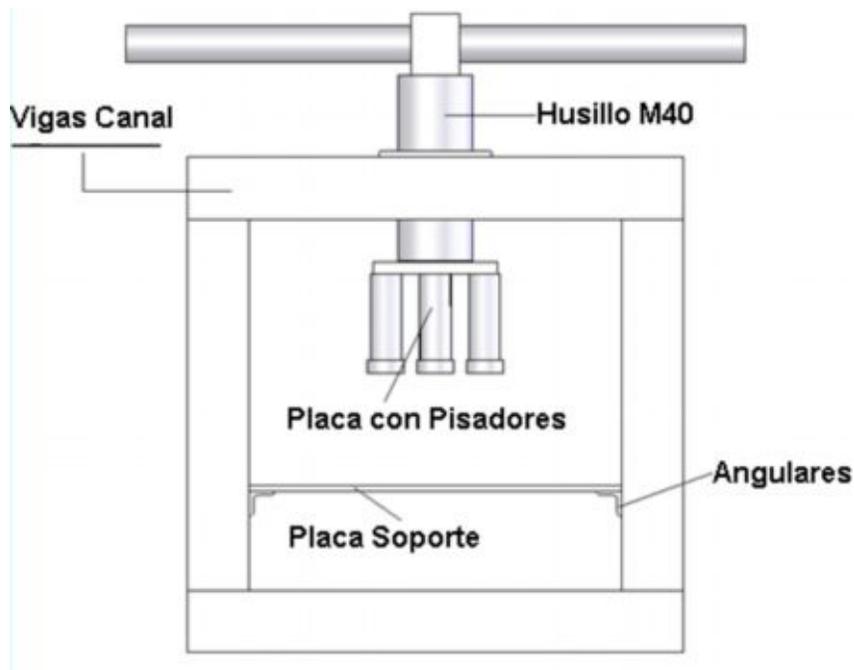
3.1.5: Diseño y dimensionado del extractor de briquetas

Para la extracción del producto del molde se diseña un equipo sencillo el cual mediante un husillo y una placa con pisadores ira retirando la briqueta de la sección inferior del dado.

Este equipo constara de una estructura de vigas canal # 10, dos placas de acero AISI 1020, una de 5 mm para apoyar la bandeja de moldes y otra de 10 mm de espesor para colocar los pisadores y sobre la cual presionara la punta del husillo. La placa de los pisadores será libre para colocar manualmente.

En la próxima figura 3.8 se mostrara el esquema del extractor y sus componentes de forma general.

Figura 3.8: Esquema del extractor de briquetas.



El objetivo de la elaboración del extractor, es el de separar el proceso de compactación del de extracción, para usando de tres a cuatro bandejas de molde darle continuidad al prensado sin tener que esperar por el llenado y vaciado de los dados.



3.2: Cálculos de resistencia y selección de materiales

En este epígrafe se realizarán los cálculos de resistencia de los elementos luego de su diseño y dimensionado verificando así la selección de los materiales para los mismo, buscando garantizar el correcto funcionamiento de la máquina y su durabilidad.

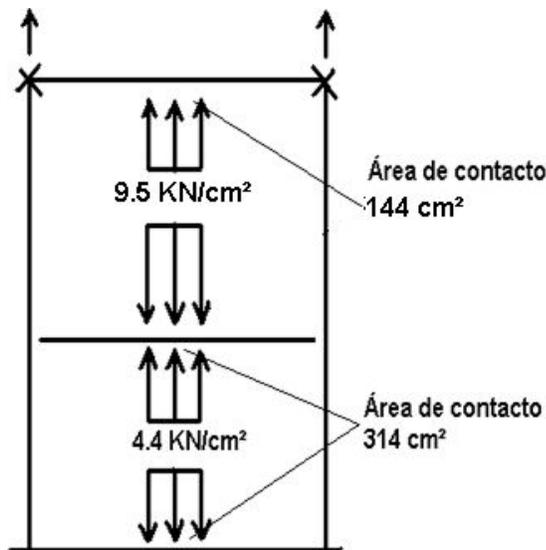
Mostraremos durante el desarrollo del tema los diagramas de fuerzas y demás detalles tenidos en cuenta para la realización de los cálculos, las formulas correspondientes a los mismos y las características de los materiales empleados.

3.2.1: Cálculo del travesaño

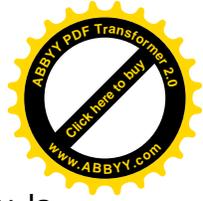
Comenzaremos los cálculos por el travesaño debido a que en este se refleja la potencia desarrollada por el gato hidráulico luego de distribuirse dentro de los dados y pasar a los pisadores, para luego trasladarse hacia las columnas.

En la próxima figura se mostrara el diagrama de fuerzas que actúan en la máquina y las reacciones más importantes derivadas.

Figura 3.9: Diagrama de fuerzas de la prensa.



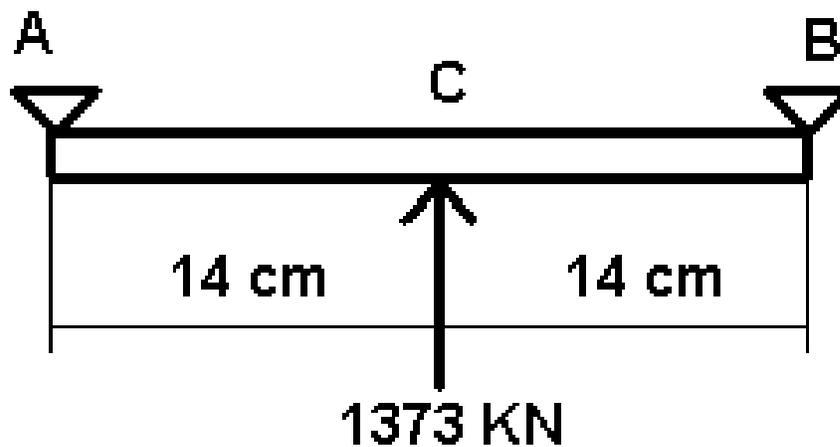
Las fuerzas distribuidas en el diagrama anterior provienen de la potencia del gato hidráulico donde los 140000 kilo gramos (140 toneladas) que aporta el mismo se distribuyen en las áreas de contacto señaladas.



Las áreas de contacto varían en cada elemento, es así que en la placa base y la intermedia esta será el área de los extremos del cilindro hidráulico, 314 cm², mientras en la placa superior y en el travesaño será el área interior de los cepos que ocupan los dados, 144 cm².

Es evidente por el diagrama antes ilustrado que el travesaño está sometido a esfuerzo de flexión, es por ello que será la resistencia a dicho esfuerzo la que se le calculara. Para llevar a cabo dichos cálculo se analizara la fuerza distribuida como una concentrada en el centro de la distribución (punto C) y se realizara la conversión de kilo gramos fuerza a kilo newton para facilitar los cálculos, las longitudes se tomaran en centímetros.

Figura 3.10: Esquema simplificado del travesaño.



1. Cálculo de las reacciones en los apoyos (A y B).

$$\sum MA = 0 \curvearrowright$$

$$0 = 1373 \text{ KN} * 14 \text{ cm} + B * 28 \text{ cm}$$

$$B = \frac{-1373 \text{ KN} * 14 \text{ cm}}{28 \text{ cm}} = -686.5 \text{ KN}$$

$$B = 686.5 \text{ KN} \downarrow$$



$$\sum F_y = 0 + \uparrow$$

$$0 = 1373 \text{ KN} - 686.5 \text{ KN} + A$$

$$A = -1373 \text{ KN} + 686.5 \text{ KN} = -686.5 \text{ KN}$$

$$A = 686.5 \text{ KN} \downarrow$$

Teniendo los resultados de las reacciones en los apoyos procedemos a calcular las fuerzas cortantes (Q) en cada punto (A, B y C) y luego el momento flector máximo (Mf máx) el cual se encontrara en el centro del travesaño y es el de mayor interés para el posterior chequeo.

2. Cálculo de las fuerzas cortantes (Q).

$$(Q \text{ en el punto A}) \sum F_y = 0 + \uparrow$$

$$0 = Q - A = Q - 686.5 \text{ KN}$$

$$Q = -686.5 \text{ KN} = 686.5 \text{ KN} \downarrow$$

$$(Q \text{ en el punto C}) \sum F_y = 0 + \uparrow$$

$$0 = Q + C = Q + 1373 \text{ KN}$$

$$Q = 1373 \text{ KN} = 1373 \text{ KN} \uparrow$$

$$(Q \text{ en el punto B}) \sum F_y = 0 + \uparrow$$

$$0 = Q - B = Q - 686.5 \text{ KN}$$

$$Q = -686.5 \text{ KN} = 686.5 \text{ KN} \downarrow$$

3. Cálculo del momento flector máximo (Mf máx.).

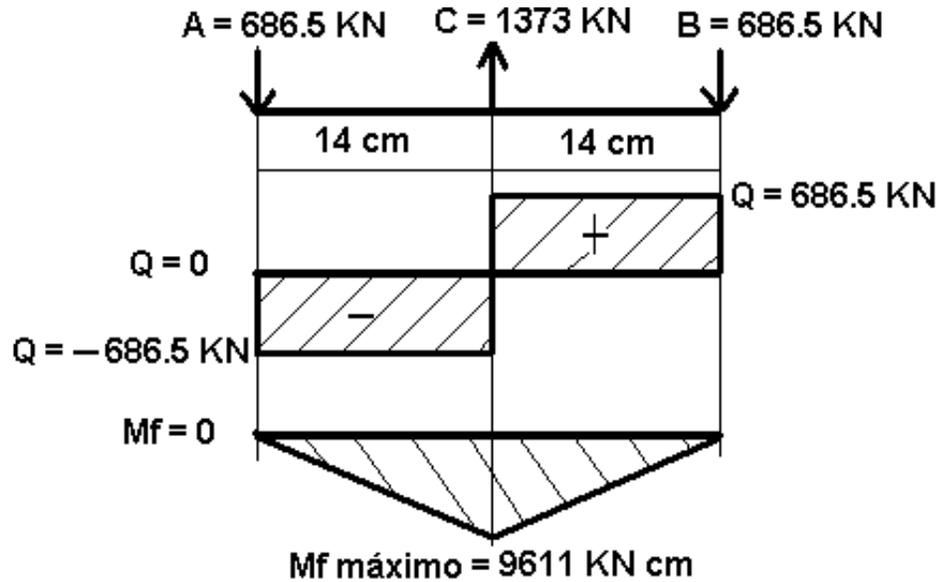
El momento flector será igual al área del rectángulo formado por la fuerza cortante Q en el punto A y la longitud desde esta hasta la próxima fuerza aplicada en C (ver diagrama en la figura 3.11).

$$Mf \text{ máx.} = A * 14 \text{ cm} = 686.5 \text{ KN} * 14 \text{ cm}$$

Mf máx. = 9611 KN cm

En la figura 3.11 se puede apreciar el diagrama de fuerza, así como los de fuerza cortante (Q) y momento flector (Mf).

Figura 3.11: Diagrama de esfuerzos en el travesaño.



Conociendo el valor del momento flector máximo procedemos a verificar si el travesaño, con las dimensiones y el material seleccionado anteriormente resiste dicho esfuerzo.

Las características del material a tener en cuenta para nuestro propósito son su límite de fluencia el cual para el acero AISI 1040 estirado en frío es de 490 MPa (ver anexo 3) y las dimensiones de la sección transversal del travesaño las cuales ya poseemos (150 x 150 mm). En nuestro trabajo el valor del factor de seguridad será igual a dos ($n = 2$).

Comenzaremos nuestro chequeo planteando la condición de resistencia con los datos ya conocidos. $\sigma_{\text{máx}} \leq [\sigma]$

Donde ($\sigma_{\text{máx}}$) es igual al momento flector máximo (Mf máx) entre el módulo de sección del material (W_x) y la tensión permisible $[\sigma]$ es igual al límite de fluencia o tensión de



fluencia del material (σ_y) entre el factor de seguridad (n). Replantando la condición

$$\text{esta toma la forma } \frac{M_f \text{ máx}}{W_x} \leq [\sigma]$$

Datos:

$$\sigma_y = 490 \text{ MPa} = 49 \text{ KN/cm}^2$$

$$n = 2$$

$$[\sigma] = \frac{49 \text{ KN/cm}^2}{2} = 24.5 \text{ KN/cm}^2$$

$$M_f \text{ máx} = 9611 \text{ KN cm}$$

W_x El módulo de sección se calcula por la formula siguiente $\frac{\frac{1}{12} * a * b^3}{\frac{b}{2}}$ donde (a)

será el ancho y (b) la altura de la sección transversal del travesaño, que en nuestro caso ambos poseen la misma dimensión (15 cm) por lo que W_x es igual a 562.5 cm^3 .

Procedemos entonces a realizar nuestro chequeo:

$$\frac{9611 \text{ KN cm}}{562.5 \text{ cm}^3} \leq \left[24.5 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \right] = 17.1 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < 24.5 \text{ KN/cm}^2$$

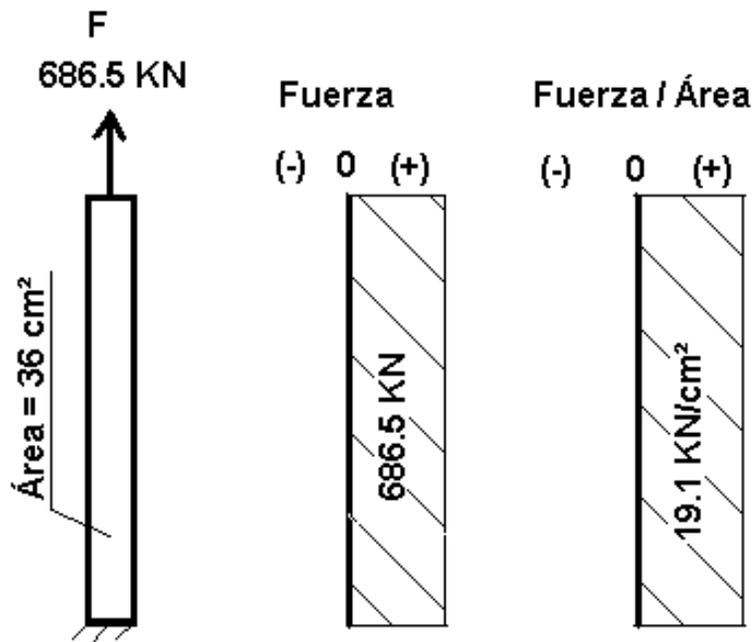
Por el resultado obtenido con el módulo de sección calculado a partir de las dimensiones del travesaño diseñado, vemos que se satisface la condición con el material seleccionado (acero AISI 1040 estirado en frio), por lo que este resistirá el esfuerzo de flexión a que será sometido.

3.2.2: Cálculo de las columnas

Para el cálculo de resistencia de las columnas tendremos en cuenta las reacciones resultantes en los puntos de fijación del travesaño (686.5 KN) es así como, observando el diagrama de fuerzas de la prensa expuesto en la figura 3.9, podemos apreciar que estas están sometidas a esfuerzo de tracción, por lo que se analizara como una barra cuadrada sometida a dicho esfuerzo y no como columna, pues la carga que puede producir el pandeo (peso del travesaño y los elementos montados en el) son despreciables.

Primeramente realizaremos los gráficos de fuerzas normales y deformación a partir de los cuales se calcularan las mismas y posteriormente se realizara el chequeo de resistencia del material seleccionado para la elaboración de las columnas partiendo de la condición de resistencia.

Figura 3.12: Diagrama de la columna y gráficos de fuerza y deformación.



La condición de resistencia es la misma para todos los chequeos en este trabajo solo variara el valor del límite de fluencia que depende del material seleccionado por lo que no se volverá a detallar.



Condición de resistencia: $\sigma_{\text{máx}} \leq [\sigma]$

$\sigma_{\text{máx}}$ en los casos de resistencia a tracción o compresión será la fuerza aplicada entre el área de la sección transversal del elemento (F/A).

Para el acero AISI 1020 estirado en frío seleccionado para este elemento el límite de fluencia es de 390 MPa.

$$\text{Por lo que: } [\sigma] = \frac{390 \text{ MPa}}{2} = 195 \text{ MPa} = 19.5 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Entonces: } \sigma_{\text{máx}} = \frac{686.5 \text{ KN}}{36 \text{ cm}^2} \leq 19.5 \text{ KN/cm}^2 = 19.1 \text{ KN/cm}^2 < 19.5 \text{ KN/cm}^2$$

Para el cálculo de la deformación (δ) debemos tener en cuenta además otras características tanto del material como del elemento analizado, las cuales son, el módulo de elasticidad (E) y la longitud (L) respectivamente.

$$\delta = \frac{\sigma_{\text{máx}} * L}{E} = \frac{19.1 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} * 87 \text{ cm}}{207 \text{ GPa}} = \frac{19.1 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} * 87 \text{ cm}}{20700 \text{ KN/cm}^2} = 0.08 \text{ cm} = 0.008 \text{ mm}$$

Podemos apreciar que el material seleccionado cumple con la condición de resistencia y su deformación es despreciable, por tanto no existe inconveniente en el empleo del mismo para la elaboración de las columnas.

3.2.3: Cálculo de la placa superior

La placa superior donde serán emplazados los pisadores será acoplada a la cara inferior del travesaño, por lo que estará sometida a compresión, las dos placas restantes (placa base para situar el cilindro hidráulico e intermedia para la bandeja de moldes) también se les debe realizar el mismo chequeo a compresión, pero al poseer estas mayores áreas de contacto que la superior y estar sometidas todas a presiones similares, asumimos que, cumpliendo la primera la condición de resistencia las demás



también lo harán. La fuerza aplicada se tomara igual a la aportada por el gato hidráulico asumiendo la misma como una concentrada al centro de la distribución de los pisadores.

Como en el caso del elemento anterior comenzamos realizando los gráficos de fuerzas normales, calculando las mismas y posteriormente realizando el chequeo de resistencia al material seleccionado el cual posee un límite de fluencia de 210 MPa (acero AISI 1020 laminado en caliente).

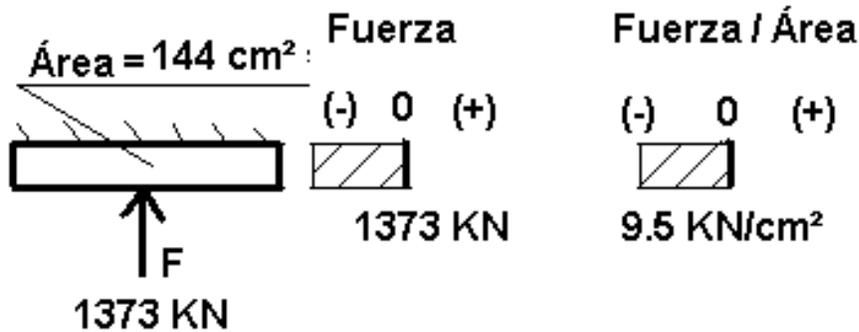
Datos: Fuerza = 1373 KN y área = 144 cm²

Condición de resistencia: $\sigma_{\text{máx}} \leq [\sigma]$

$$\text{Dónde: } \sigma_{\text{máx}} = \frac{1373 \text{ KN}}{144 \text{ cm}^2} = 9.5 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Y } [\sigma] = \frac{210 \text{ MPa}}{2} = 105 \text{ MPa} = 10.5 \text{ KN/cm}^2$$

Figura 3.13: Diagrama de la placa superior y gráficos de fuerza.



Entonces: $\sigma_{\text{máx}} \leq [\sigma] = 9.5 \text{ KN/cm}^2 < 10.5 \text{ KN/cm}^2$

De este modo queda definido el material para la manufactura de las placas al cumplir el mismo con la condición de resistencia garantizándose su desempeño y durabilidad, además de bajos costos de material al ser este un acero común sin elementos de aleación extraordinarios.



3.2.5: Cálculo de los pisadores

Los pisadores son, al igual que los dados, los que estarán en contacto directo con la biomasa en el proceso de compactación, estos recibirán la presión ejercida la cual se distribuirá por cada uno de ellos para luego pasar a la placa superior.

Estos elementos estarán sometidos al igual que las placas a esfuerzo de compresión y aunque la carga es menor que en estas también lo son las áreas de contacto por lo que el material seleccionado deben poseer una mayor resistencia a la fluencia, es por ello que desde un principio se propuso usar para su elaboración el acero AISI 1040 estirado en frío el cual posee un límite de fluencia de 490 MPa.

Al igual que a las columnas y las placas se le realizara a los pisadores los gráficos de fuerzas normales y deformación, además de chequear su resistencia. La metodología a emplear es la misma ya detallada anteriormente por lo que comenzaremos de inmediato con los cálculos necesarios.

Datos:

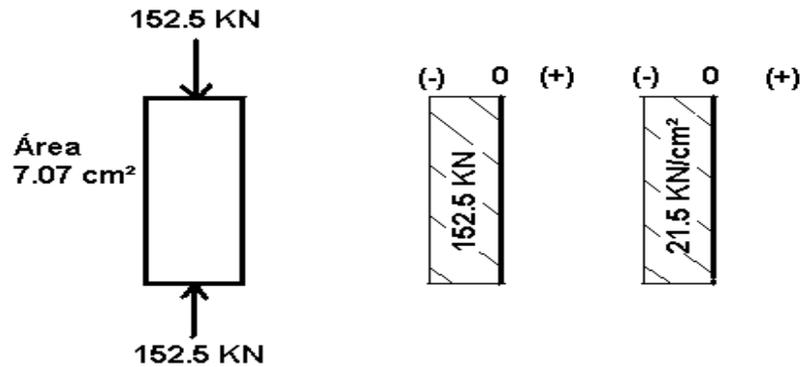
Fuerza = 152.5 KN (1373 KN / 9 pisadores), área = 7.07 cm² (sección transversal de los pisadores) y longitud = 12 cm.

Condición de resistencia: $\sigma_{\text{máx}} \leq [\sigma]$

$$\text{Dónde: } \sigma_{\text{máx}} = \frac{152.5 \text{ KN}}{7.07 \text{ cm}^2} = 21.5 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Y } [\sigma] = \frac{490 \text{ MPa}}{2} = 245 \text{ MPa} = 24.5 \text{ KN/cm}^2$$

Figura 3.14: Diagrama de los pisadores y gráficos de fuerza y deformación.



Entonces: $\sigma_{\text{máx}} \leq [\sigma] = 21.5 \text{ KN/cm}^2 < 24.5 \text{ KN/cm}^2$

La deformación será:
$$\delta = \frac{\sigma_{\text{máx}} * L}{E} = \frac{21.5 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} * 12 \text{ cm}}{207 \text{ GPa}} = \frac{21.5 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} * 12 \text{ cm}}{20700 \text{ KN/cm}^2} = 0.01 \text{ cm} =$$

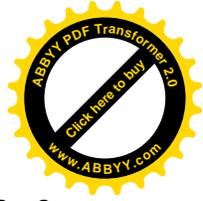
0.001

Al igual que en los demás elementos analizados el material seleccionado para la ejecución de los pisadores cumple la condición de resistencia planteada y su deformación es despreciable, es por ello que se recomienda el empleo del mismo garantizando su funcionalidad en la máquina diseñada para el proceso de compactación.

En el caso de los dados no se les realizara el chequeo pues no se asumen como un tubo de paredes delgada debido a que la relación entre el diámetro exterior y el espesor de pared ($\emptyset 40 \text{ mm}/5 \text{ mm} = 8$), no es superior a 20, cifra establecida para la determinación de este parámetro según literatura consultada al respecto.

3.3: Esquema del proceso y productividad

Es importante para todo equipo diseñado, el llevar a cabo una función determinada con eficiencia y productividad, además de poseer bajos costos de manufactura o inversión para su empleo en condiciones locales.



En este epígrafe determinaremos estos factores para la máquina diseñada e incluiremos el esquema del proceso de densificación propuesto para la misma además de los procesos de manufactura principales para la elaboración de sus elementos.

3.3.1: Esquema del proceso de producción de briquetas

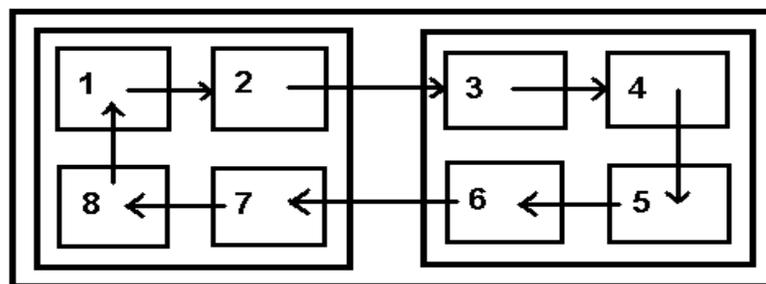
Mostraremos en este acápite el proceso de densificación que proponemos con todas sus etapas buscando la continuidad en la producción de las briquetas de aserrín para garantizar el mayor aprovechamiento de la máquina diseñada.

El proceso de forma general contara con las siguientes etapas:

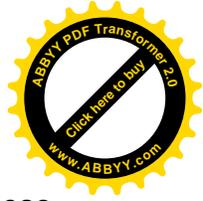
1. Acoplamiento de las secciones de la bandeja de moldes.
2. Llenado de la bandeja de moldes.
3. Montaje de la bandeja de moldes en la prensa.
4. Compactación de la biomasa.
5. Liberación de la presión del cilindro hidráulico.
6. Desmontaje de la bandeja de moldes.
7. Desacoplar las secciones de la bandeja de moldes.
8. Extracción del producto densificado.

Las anteriores serán las etapas a concretar en el proceso de densificación y aunque puedan parecer demasiadas debe tenerse en cuenta que algunas se realizaran de forma paralela empleando dos operarios como se detallara posteriormente.

Figura 3.15: Diagrama del proceso de densificación.



En el diagrama mostrado cada cuadro pequeño (8) es una etapa del proceso identificada con el número correspondiente a cada una, los cuadros medianos (2)



representan los operarios en sus puestos correspondientes y el mayor el proceso completo de densificación.

Se puede observar en el diagrama las etapas correspondientes a cada operario y seguir mediante las flechas la continuidad del proceso así como la distribución principal de las actividades a realizar.

3.3.1.1: Tiempo estimado por etapas

Para calcular la productividad de la máquina es necesario determinar el tiempo empleado en el proceso de densificación el estimaremos primero por etapas para luego calcular el general del proceso.

Los tiempos estimados por etapa son:

Acoplamiento de las secciones de la bandeja de moldes, 5 segundos.

Llenado de la bandeja de moldes, 10 segundos.

Montaje de la bandeja de moldes en la prensa, 8 segundos.

Compactación de la biomasa, 62 segundos.

Liberación de la presión del cilindro hidráulico, 57 segundos.

Desmontaje de la bandeja de moldes, 3 segundos.

Desacoplar las secciones de la bandeja de moldes, 5 segundos.

Extracción del producto densificado, 40 segundos.

Como puede apreciarse el tiempo total sería de 3 minutos, pero al calcular el tiempo para las etapas de cada operario, tenemos que para el de la operación de prensado, el tiempo de proceso es de 2 minutos, mientras para el del llenado y extracción es la mitad (1 minuto), por lo que el segundo puede abastecer satisfactoriamente al primero para darle continuidad al proceso, sobre todo empleando al menos tres bandejas de moldes.



3.3.2: Volumen de materia prima a procesar

Determinaremos a continuación los volúmenes de materia prima que se podrán procesar con la máquina diseñada en diferentes periodos de trabajo (por jornada, por mes y por año) partiendo del volumen colectado por los dados.

Del capítulo 2 sub-epígrafe 2.2.5 conocemos el volumen colectado por cada dado ($121 \text{ cm}^3 = 0.000121 \text{ m}^3$) y el peso aproximado de biomasa en los mismos ($40 \text{ g} = 0.040 \text{ kg}$), con estos datos y el tiempo estimado para el proceso calculado anteriormente llevaremos a efecto nuestro propósito.

Datos:

Volumen por dado (V_d) = 0.000121 m^3

Cantidad de dados (C_d) = 9

Tiempo de proceso (T_p) = 2 min

Tiempo por jornada de 8 horas (T_j) = 480 min

Cálculos:

$$\text{Procesos por jornada (P}_j\text{)} = T_j / T_p = \frac{480 \text{ min}}{2 \text{ min}} = 240$$

$$\text{Volumen por bandeja (V}_b\text{)} = V_d * C_d = 0.000121 \text{ m}^3 * 9 = 0.001089 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen por jornada (V}_j\text{)} = V_b * P_j = 0.001089 \text{ m}^3 * 240 = 0.261 \text{ m}^3$$

Hemos determinado ya el volumen de biomasa procesada en una jornadas de 8 horas, podemos ya calcular entonces el procesado tanto mensual como anual de la siguiente forma.

Datos:

$$\text{Horas de trabajo mensual, 24 días (H}_m\text{)} = 8 \text{ h} * 24 = 192 \text{ horas}$$

$$\text{Horas de trabajo anual, 288 días (H}_a\text{)} = 8 \text{ h} * 288 = 2304 \text{ horas}$$



Cálculos:

$$\text{Volumen mensual (Vm)} = V_j * H_m = 0.261 \text{ m}^3 * 192 \text{ horas} = 50.1 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen anual (Va)} = V_j * H_a = 0.261 \text{ m}^3 * 288 \text{ horas} = 75 \text{ m}^3$$

Con estos resultados concluimos el presente sub-epígrafe para un posterior análisis de los mismos.

3.3.3: Procesos principales de manufactura de la prensa

De forma breve queremos relacionar algunos procesos de manufactura que deberán llevarse a cabo para la construcción de la máquina briqueteadora diseñada y los equipos necesarios para los mismos.

Maquinado:

- Torno para el maquinado de los dados y los pisadores.
- Taladro vertical para la perforación de los agujeros.
- Fresa para el acondicionamiento de los bordes de las barras cuadradas y las planchas.

Otros:

- Machos y dados para la realización de roscas estándares.
- Equipo de soldadura por arco eléctrico.
- Equipo de oxicorte.
- Equipo de corte y doblado de chapas de acero.

A nuestro entender estos serían los equipos, máquinas y accesorios fundamentales para acometer la producción de la máquina briqueteadora diseñada.

3.4: Conclusiones del capítulo

- La utilidad de la máquina diseñada para realizar el proceso de densificación radica fundamentalmente en la posibilidad de re-utilizar los desechos generados por los aserraderos dándole un destino final de utilidad a los mismos.



- Aunque los volúmenes de biomasa a procesar con la prensa diseñada no son muy grandes, es factible su empleo debido a que no existe en el país ningún equipo para realizar esta función para el aprovechamiento de los desechos generados por la industria de la madera.
- El empleo de la misma, como se ha podido demostrar; genera un producto que cumple con los estándares internacionales además posee la cualidad de no incurrir durante su funcionamiento en el consumo de energía que no sea renovable.
- Los procesos de manufactura a emplear para la elaboración de la prensa, son sencillos y con equipos tradicionales, por lo que no deben existir inconvenientes para su construcción.



Conclusiones generales

- El desarrollo de sistemas y formas de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía (FRE) es un aspecto de vital importancia para el futuro de la humanidad y la protección del medio ambiente.
- El uso de la biomasa densificada con fines energéticos es una alternativa viable en aras de la disminución del consumo de combustibles fósiles y el consecuente deterioro del medio ambiente que estos provocan.
- El proceso de densificación con alta presión es posible llevarlo a cabo en condiciones locales de forma manual, sin el empleo de aglomerantes o aditivos y con un mínimo gasto en el acondicionamiento de la materia prima.
- La obtención del diseño de una máquina briqueteadora manual para la realización de la densificación del aserrín por alta presión sin usar aglomerante, con la posibilidad de empleo de la misma en condiciones locales, es en la actualidad un paso de avance en el desarrollo de las fuentes renovables de energía (FRE) a considerar.
- La implantación en nuestros aserraderos de máquinas briqueteadoras para la densificación de los desechos generados, es una variante tentadora para darle un destino final a los mismos, sobre todo en la generación de energía térmica para cámaras de curado o secado de diversos productos.
- La fabricación de briquetas de aserrín con la calidad adecuada para su empleo como combustible en vista de sustituir el empleo de diesel en las cámaras de curado o secado de diversos productos, es un proyecto ya soñado y en tiempo de ser llevado a la realidad para la contribución al desarrollo sostenible de nuestra economía siendo, además, una alternativa de destino para los residuos de la industria de la madera que contribuye a la protección del medio ambiente al facilitar la evacuación de estos desechos.



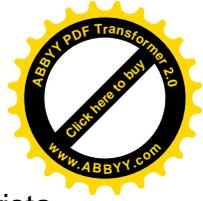
Recomendaciones

- Continuar el estudio de la densificación en vista de desarrollar mejores y más eficientes sistemas de aprovechamiento de la biomasa para diversos fines.
- Desarrollar la tecnología empleada en el gato hidráulico empleado como referencia, para obtener las réplicas necesarias en la industria nacional para el empleo de los mismos en la producción de prensas briquetadoras manuales.
- Avanzar en la implantación de sistemas de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, que sean factibles para el empleo de las mismas, sobre todo en condiciones locales y descentralizadas, buscando la disminución de los costos de inversión inicial.
- Profundizar en el estudio de las tecnologías de densificación para el desarrollo de máquinas capaces de realizar el proceso sobre otros tipos de biomásas, como la basura urbana entre otras.



Bibliografías

1. **Barrera O. J. A. Periodista M&M.** Briquetas: La Mejor Forma de Reutilizar los Residuos Forestales. www.revista-mm.com
2. **Bhattacharya S. C. 2002**, Biomass Energy Use and Densification in Developing Countries. Abstract of the first world conference on pellets, Stockholm, 2-4 September 2002.
3. **Curbelo A., García B. 2006**, Contribución de la biomasa no cañera a la generación de electricidad en Cuba. / División de Industria y Energía, Agencia de Ciencia y Tecnología, Cuba.
4. **Chin, O. C. 2000.** Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressure. *Biomass and Bioenergy*, Vol.18, 223-228.
5. **Domínguez D. J., González V. M., Muñoz H. G. 2002.** Strategy to optimize the mechanical densification process of agricultural crop residues and by-products. *Agro Ciencia*, Vol. 36, 593-604.
6. **Energía de la Biomasa. Agosto 2001.**
7. **Erickson S. and Prior M. 1990.** The briquetting of agricultural wastes for fuel. Food and Agricultural Organization of the United Nations.
8. **Existing Guidelines and Quality Assurance for Fuel Pellets.** [www: umbra.at](http://www.umbra.at)
9. **González M. L. 2004**, "Estudio comparativo de BSC y Maderas en la obtención de eco-materiales" Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Facultad de Ingeniería Mecánica Departamento: Energía; TD.Tutor: Machado I. Moya, H.I.
10. **Jamradloedluk J. 2005.** Physical properties and combustion performance of briquettes produced from two pairs of biomass species. Mahasarakham Thailand: Faculty of Engineering, Mahasarakham University Kantarawicha.
11. **Machado L. I. 2011**, Tesis Presentada Para Optar Por El Grado Científico De Doctor En Ciencias Técnicas 2011.
12. **Manuales sobre energía renovable 2002:** Biomasa/ Biomass Users Network (BUN-CA).



13. **Marcos M. F., Núñez M. A. 2006.** Biomasa forestal: fuente energética. Revista Energética Xxi.E.T.S.I. Montes, Madrid.
14. **Moreno L. L. A. 2003,** Diseño y construcción de un prototipo de máquina Briquetadora para carbón vegetal, apropiada para pequeños y medianos productores. Chapingo; Texcoco; Edo. De México Diciembre del 2003.
15. **Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2004** <http://www.fao.org>.
16. **Ortiz L., Tejada A., Vázquez A. 2005.** Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria. Parte III: Producción de elementos densificados. Revista CIS-Madera
17. **Revista Ingeniería de Construcción Vol. 26 N°2, Agosto de 2011.** Mejora de la eficiencia energética de la producción de ladrillos de cerámica roja a partir del empleo como biocombustible de material lignocelulósico densificado
18. **Sebastián F., Royo J. 2002,** “La Biomasa como Fuente de Energía Renovable”, CIRCE, Universidad de Zaragoza, <http://www.cps.unizar.es>
19. **Shaw M. 2008.** Feedstock and process variables influencing biomass densification. Master of Science, University of Saskatchewan.
20. **TODOSBIOMASA.** todosbiomasa.com (Consultado el 7 de febrero de 2014)
21. **Wilaipon P. 2007.** The Effects of Moderate Die Pressure on Maize Cob Briquettes: A Case Study in Phitsanulok. Muang, Phitsanulok Thailand: Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty Naresuan University.

Anexos

Anexo 1

Imágenes de máquinas briqueteadoras.



Máquinas Briqueteadoras RB 80-RB 160



Máquinas Briqueteadoras AP 655-AP 822



Anexo 1 continuación



Máquina Briqueteadora BP 2000



Máquina Briqueteadora BP 3200

Anexo 1 continuación



Máquina Briqueteadora BP 6000



Máquina briqueteadora. Luis Alberto Moreno López 2003



Anexo 2

Imágenes de ensayos.



Anexo 2, continuación.



Anexo 2, continuación.





Anexo 2, continuación.



Anexo 2, continuación.



Anexo 2, continuación.

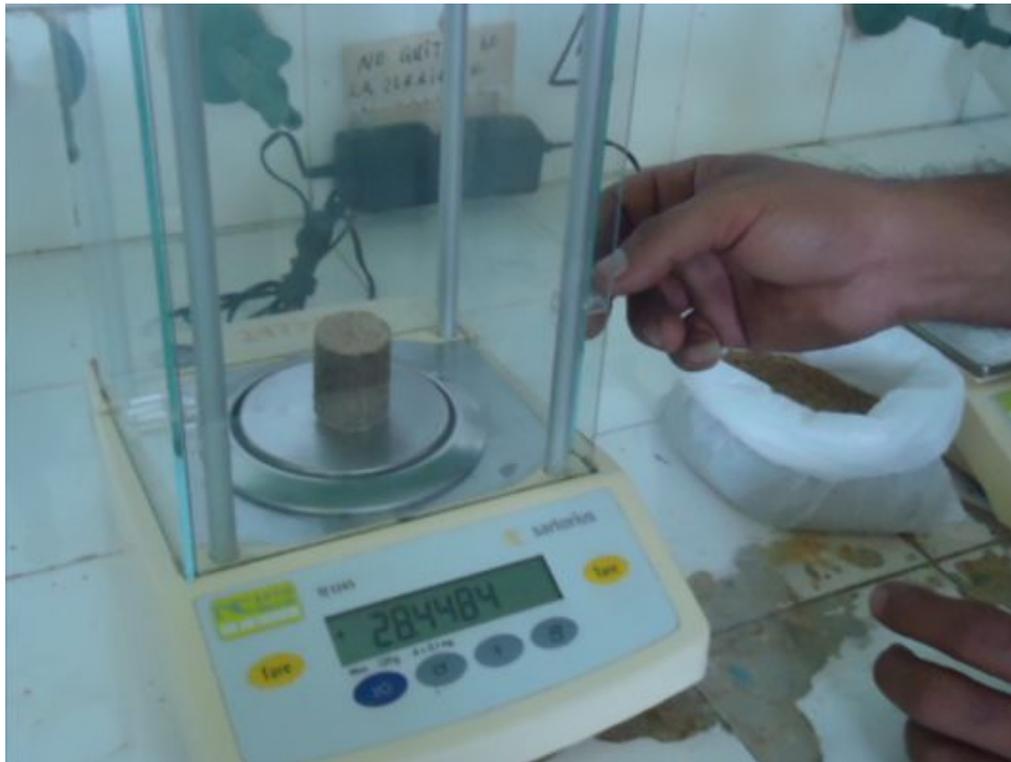




Anexo 2, continuación.



Anexo 2, continuación.





Anexo 2, continuación.



Anexo 2, continuación.



Anexo 3, continuación.

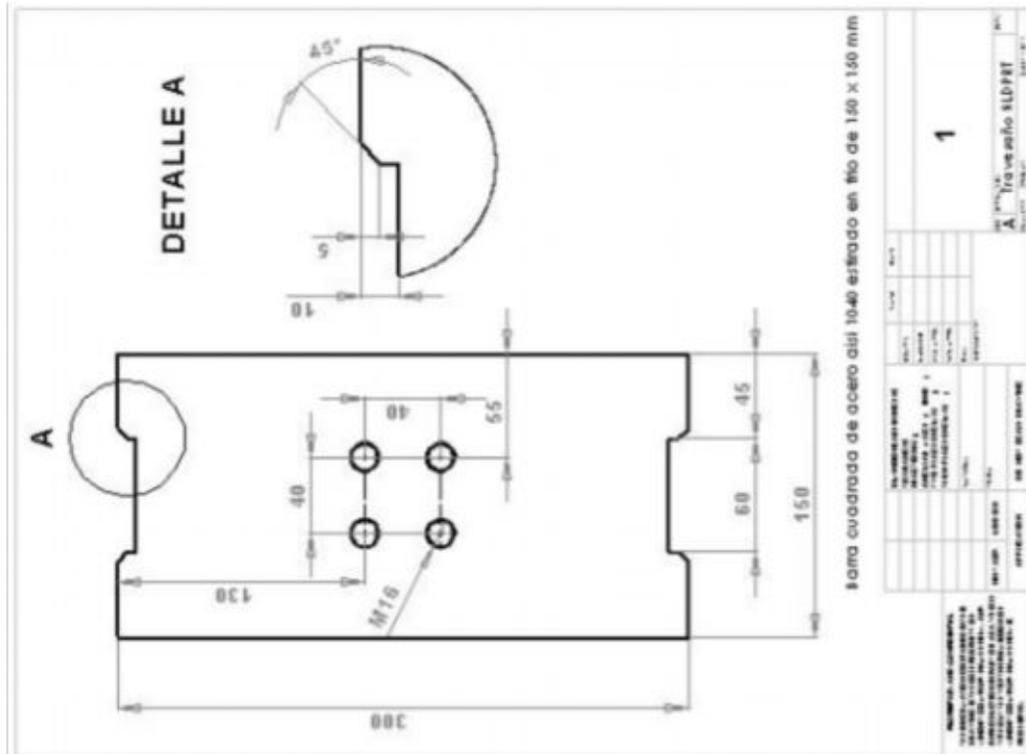
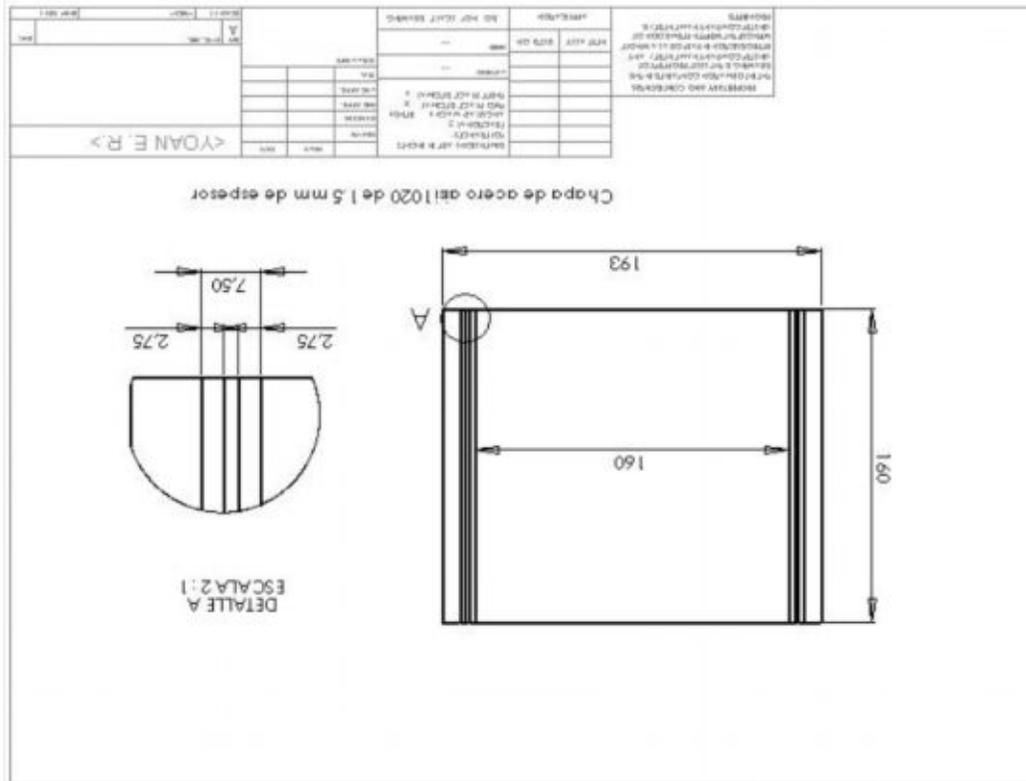
Mancha de acero alsi 1020 de 20 mm de espesor

INSTRUCCIONES PARA EL CLIENTE: 1. LEER EL DISEÑO Y LAS NOTAS. 2. VERIFICAR LAS DIMENSIONES Y MATERIALES. 3. CONFIRMAR LA FABRICACIÓN Y ENTREGA. 4. VERIFICAR LA ENTREGA Y LA CALIDAD.		No. de Proyecto: 10 No. de Hoja: A Descripción: Placa Kila rmd dia
---	--	---

Mancha de acero alsi 1020 de 20 mm de espesor

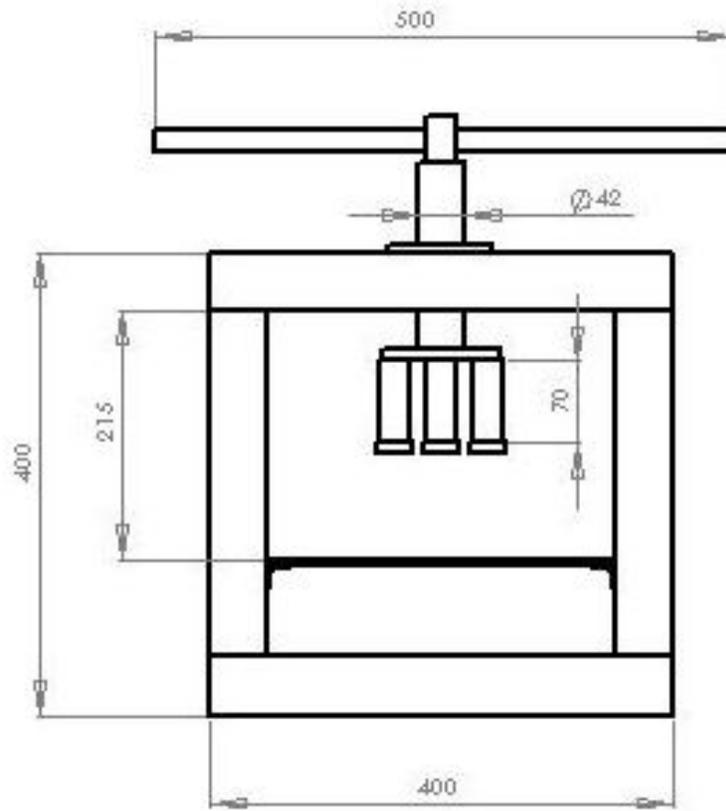
INSTRUCCIONES PARA EL CLIENTE: 1. LEER EL DISEÑO Y LAS NOTAS. 2. VERIFICAR LAS DIMENSIONES Y MATERIALES. 3. CONFIRMAR LA FABRICACIÓN Y ENTREGA. 4. VERIFICAR LA ENTREGA Y LA CALIDAD.		No. de Proyecto: 2 No. de Hoja: A Descripción: Placa Superior
---	--	--

Anexo 3, continuación.





Anexo 3, continuación.



PROPIETAR Y CONSERVADOR DE LOS DERECHOS DE AUTOR DE LA OBRA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO DE INTERIORES Y EXTERIORES, ASÍ COMO DE LOS DERECHOS DE AUTOR DE LA OBRA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO DE INTERIORES Y EXTERIORES.		DISEÑO DE ARQUITECTURA Y DISEÑO DE INTERIORES Y EXTERIORES Y DISEÑO DE INTERIORES Y EXTERIORES			
	NOMBRE APELLIDOS	NOMBRE APELLIDOS	NOMBRE APELLIDOS	NOMBRE APELLIDOS	NOMBRE APELLIDOS
APLICACION	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
					A Ensamb. Extra.



Anexo 3, continuación.

Propiedades de algunos aceros.

TABLA A-20

Características y propiedades mecánicas *a la tensión* de algunos aceros rolados en caliente (HR) y estirados en frío (CD).

[Las resistencias indicadas son valores mínimos ASTM estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ in). Tales resistencias son adecuadas para el uso con el factor de diseño definido en la sección 1-9, siempre que los materiales cumplan los requisitos ASTM A6 o A568, o sean requeridos en las especificaciones de compra. Conviene recordar que una designación numérica no es una especificación. Véanse en la tabla 1-1 las propiedades de algunos aceros ASTM.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESAMIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA, MPa (kpsi)	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA, %	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.